

Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik

Jahresbericht 2011

Inhalt

Personelle Besetzung	7
Lehre	15
Forschung	19
Dissertationen & Habilitation	83
Veranstaltungen	99
Anfahrtsskizze	115

Titelfoto:

Blick in die Hochspannungshalle des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Postanschrift:

Technische Universität Dresden
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik
01062 Dresden

Besucheranschrift:

Mommsenstraße 10
Binderbau
Zi. 124/125
01069 Dresden

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

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

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



Sehr geehrte Freunde des Instituts für
Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik,

mit dem Rückblick auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2011 grüßen wir Sie recht herzlich zum Beginn des neuen Jahres.

Erfreulich gilt es zunächst zu berichten, dass sich die Zahl der Studienanfänger an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik in den Studiengängen Elektrotechnik, Informationssystemtechnik und Mechatronik in diesem Wintersemester im Vergleich zum Vorjahr um mehr als die Hälfte erhöht hat. Ursachen dafür dürften neben dem Wegfall der Wehrpflicht in Deutschland vor allem ein gestiegenes Energiebewusstsein, das bundesweit sehr gute Abschnitten unserer Fakultät beim CHE-Ranking und beim Rating des Wirtschaftsrates der Bundesrepublik Deutschland sowie das Angebot eines nach den Grundsätzen des Bologna-Prozesses modularisierten, durchgängigen, zehensemestriigen Diplomstudiums für zukünftige Ingenieure sein.

Gemeinsam mit der Fakultät Maschinenwesen konnte in sehr kurzer Zeit ein neuer Diplomstudiengang „Regenerative Energiesysteme“ eingerichtet werden, der den aktuellen Herausforderungen angepasst, die Energiefrage von der Wandlung der Primärenergie bis zum Endverbraucher ganzheitlich betrachtet. Dabei wird die klassische, technisch-mathematische Grundlagenausbildung weiterhin die Basis für zukünftige Diplomingenieure der regenerativen Energiesysteme sein. Insgesamt 278 Studierende haben sich für diesen Studiengang immatrikulieren lassen. Unser Institut hat an der Einrichtung des Studienganges aktiv mitgewirkt. Insbesondere Herrn Prof. Peter Schegner gilt für sein außerordentliches Engagement besonderer Dank.

Wir freuen uns über die Berufung von Herrn Dr.-Ing. Gert Hentschel zum Honorarprofessor für das Lehrgebiet „Elektroenergieanlagenprojektierung“ an unserem Institut. Damit wird sein bereits seit mehreren Jahren aktives Wirken für unsere Studierenden gewürdigt.

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 Fachgebiet der Hochstromtechnik und Hochspannungsgeräte ist der Tod von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme, der von 1978 bis 1991 als Professor an unserem Institut gewirkt und dieses fachlich stark geprägt hat. Wir werden sein Andenken ehrend bewahren.

Erfolgreich konnte sich im vergangenen Jahr das Kompetenzzentrum elektrische Energietechnik (<http://www.gwtonline.de/energie/>) mit tatkräftiger Unterstützung der GWT-TUD GmbH etablieren und steht der Industrie und Energiewirtschaft als Partner für wissenschaftliche Forschung und Dienstleistungen zur Verfügung und bündelt die Kompetenz mehrerer sächsischer Professuren auf dem Gebiet der Energietechnik.

Mit insgesamt 25 Doktoranden am Institut haben wir einen Höchststand seit vielen Jahren. Allen altbekannten und neuen Forschungspartnern, mit denen wir auch in diesem Jahr wieder erfolgreich und in wachsendem Umfang zusammenarbeiten konnten, gilt unser ausdrücklicher, herzlicher Dank.

Die enge Zusammenarbeit mit dem VDE-Bezirksverein Dresden ermöglichte mehrere Elektrotechnische Kolloquien und die traditionelle einwöchige Exkursion „Elektroenergietechnik“.

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.

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 2012 und freue mich auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.

Dresden, im Dezember 2011



Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann
Institutsdirektor



Nachruf

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme

1937 – 2011

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme ist im Alter von 73 Jahren nach schwerer Krankheit verstorben. Wir nehmen Abschied von einem herausragenden Ingenieur, Wissenschaftler und Hochschullehrer, der das Fachgebiet der Hochspannungsgeräte im universitären und im industriellen Bereich weit über die Grenzen der Technischen Universität Dresden hinaus geprägt und mitgestaltet hat.

Er studierte ab 1955 an der damaligen Technischen Hochschule Dresden Elektrotechnik und diplomierte 1961 bei Prof. Fritz Obenaus. Nach seinem Studium arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und später als Oberassistent am Institut für Hochspannungstechnik.

Mit einer Arbeit „Zum Kriechüberschlag von gestreckten Fremdschichtflächen und zylindrischen Isolatoren mit Schirmen“ promovierte er, ebenfalls unter Prof. Fritz Obenaus, 1966 zum „Dr.-Ing.“.

Beim VEB „Otto Buchwitz“ Starkstrom-Anlagenbau Dresden konnte er ab 1969 sein theoretisches Wissen in die Dimensionierung luft- und feststoffisolierter, fabrikfertiger Mittelspannungs-Schaltanlagen einbringen und wichtige Erfahrungen in der Praxis der industriellen Fertigung sammeln.

Seit 1974 war Prof. Böhme als Dozent im Wissenschaftsbereich Elektrische Betriebsmittel und Anlagen der Sektion Elektrotechnik tätig. Im Jahre 1976 schloss er die Promotion B „Zur Gestaltung des energetischen Teiles von Baueinheiten für Mittelspannungs-Schaltanlagen aus Sicht technischer Forschung“ ab. 1978 erfolgte die Berufung auf die Professur für das Fachgebiet „Hochspannungsgeräte“ am Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der TU Dresden, die er bis zu seinem Wechsel in die Industrie 1991 innehatte. Von ihm wurden mehr als 20 Doktoranden zur Promotion und 4 Wissenschaftler zur Habilitation geführt.

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme ist Autor des Fachbuches „Mittelspannungstechnik“. Er hat zahlreiche Artikel in nationalen und internationalen Zeitschriften veröffentlicht und war in Normungsgremien und in der CIGRÉ

sehr aktiv tätig. Bei mehreren Zeitschriften war er Mitglied des wissenschaftlichen Beirates.

Der Schwerpunkt und gleichzeitig der Verdienst seines wissenschaftlichen Wirkens lagen auf der Erweiterung der „klassischen Hochspannungstechnik“ um die Wirkungen hoher elektrischer Ströme. Unter seiner Leitung wurden die Grundlagen für die thermische und mechanisch-dynamische Berechnung von Schaltanlagen und Geräten weiterentwickelt. Dazu gehörte auch die Erforschung des Langzeitverhaltens ruhender Verbindungen der Elektroenergietechnik. Dieses Fachgebiet ist auch noch heute ein wichtiger Schwerpunkt der Forschungen am Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik. Die von ihm geförderte Methode der Wärmenetzberechnung nimmt heute einen festen Platz bei der ingenieurtechnischen Berechnung der Erwärmung von elektrotechnischen Geräten und Anlagen ein.

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme hat sich immer für die enge Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis eingesetzt. Sein Engagement als Hochschullehrer galt besonders den Studierenden. Er vermittelte ihnen stets den aktuellen Stand der Technik und verknüpfte theoretische Erkenntnisse mit dem Experiment.

Seit seinem Ruhestand war er im VDE-Bezirksverein Dresden im Arbeitskreis „Hochspannungsschaltgeräte und -anlagen“ tätig. Er hat aktiv die ehemaligen und derzeitigen Dresdener Hochspannungstechniker zusammengeführt, um den fachlichen und kollegialen Austausch zu pflegen.

Ehemalige Kollegen und Mitarbeiter der TU Dresden haben Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme aufgrund seiner herausragenden Fähigkeiten als Ingenieur und Wissenschaftler und seines breiten und fundierten Fachwissens auf dem Gebiet der Elektroenergietechnik, aber auch wegen seiner fachlichen Klarheit und Präzision verbunden mit menschlicher Wärme außerordentlich geschätzt.

Wir trauern mit seiner Familie und werden Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme in lebendiger, dankbarer und ehrenvoller Erinnerung behalten.

Personelle Besetzung

Personelle Besetzung

Mitarbeiter

An unserem Institut konnten wir insgesamt 6 neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begrüßen:

Herrn Dipl.-Ing. Robert Stiegler	(ab 01.01.2011)
Herrn Dipl.-Ing. Matthias Voigt	(ab 01.02.2011)
Herrn Dipl.-Ing. Torsten Fuhrmann	(ab 01.08.2011)
Frau M.Eng. Maria Blanco	(ab 01.10.2011)
Frau Dipl.-Ing. Maria Hering	(ab 01.10.2011)
Herrn M.Sc. Christian Jäschke	(ab 07.11.2011)

An der Professur Elektroenergieversorgung weilte vom September bis Dezember Herr Prof. Bobojanov von der Universität Taschkent/Usbekistan zu einem vom DAAD finanzierten Forschungsaufenthalt.



*Das Team des Instituts für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik*

	Name und E-Mail-Adresse	Telefon (0351) 463-
Hochschul- lehrer	Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann Institutsdirektor steffen.grossmann@tu-dresden.de	33428
	Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner peter.schegner@tu-dresden.de	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 hartmut.bauer@tu-dresden.de	35104
	Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl loebl@ieeh.et.tu-dresden.de	32138
Sekretariate	Regina Scharf regina.scharf@tu-dresden.de	33202
	Ulrike Hendrich hendrich@ieeh.et.tu-dresden.de	33428
Wissenschaft- liche Mitarbei- ter	Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel (Laborleiter) pampel@ieeh.et.tu-dresden.de	33103
	Dr.-Ing. Jan Meyer jan.meyer@tu-dresden.de	35102
	Dr.-Ing. Joachim Speck speck@ieeh.et.tu-dresden.de	33105
	Dr.-Ing. Norbert Hertwig bis 31.10.2011	
	Dipl.-Ing. Robert Adam adam@ieeh.et.tu-dresden.de	34789
	Dipl.-Ing. Karsten Backhaus backhaus@ieeh.et.tu-dresden.de	33608
	M.Eng. Maher Bakka bakka@ieeh.et.tu-dresden.de	34948

Personelle Besetzung

M.Eng. Maria Blanco blanco@ieeh.et.tu-dresden.de	35272
Dipl.-Ing. Melanie Conrad conrad@ieeh.et.tu-dresden.de	34789
Dipl.-Ing. Jörg Dickert joerg.dickert@tu-dresden.de	35272
Dr. Vo Ngoc Dieu bis 30.06.2011	
Dipl.-Wirt.-Ing. Sebastian Dreier dreier@ieeh.et.tu-dresden.de	34756
Dipl.-Ing. Max Domagk max.domagk@tu-dresden.de	35223
Dipl.-Ing. Torsten Fuhrmann fuhrmann@ieeh.et.tu-dresden.de	32746
Dipl.-Ing. Etienne Gasch etienne.gasch@tu-dresden.de	35223
Dr.-Ing. Christian Henze bis 31.10.2011	
Dipl.-Ing. Maria Hering hering@ieeh.et.tu-dresden.de	33608
Dipl.-Ing. Tobias Heß tobias.hess@tu-dresden.de	32941
Dipl.-Ing. Christian Hildmann hildmann@ieeh.et.tu-dresden.de	34948
M. Sc. Christian Jäschke christian.jaeschke@tu-dresden.de	35353
Dipl.-Ing. Benjamin Kaufmann kaufmann@ieeh.et.tu-dresden.de	34948
Dipl.-Ing. Matthias Klatt matthias.klatt@tu-dresden.de	35223
Dipl.-Ing. Nils Lücke luecke@ieeh.et.tu-dresden.de	34756

Personelle Besetzung

	Dipl.-Ing. Jörg Meyer <u>joerg.meyer@tu-dresden.de</u>	32941
	Dr. Apostolos Apollon Paraskevopoulos bis 31.05.2011	
	Dipl.-Ing. Stephanie Pfeifer <u>pfeifer@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32746
	Dipl.-Ing. Stephan Schlegel <u>schlegel@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32746
	Dr.-Ing. Roberto Schulze <u>roberto.schulze@tu-dresden.de</u>	35353
	Dipl.-Ing. Philipp Stachel bis 28.02.2011	
	Dipl.-Ing. Robert Stiegler <u>robert.stiegler@tu-dresden.de</u>	35104
	Dipl.-Ing. Matthias Voigt <u>voigt@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33080
	M.Eng. Moyan Wei <u>wei@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33080
Technische Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres <u>goeres@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32613
	Waltraud Müller <u>muellerW@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33307
Werkstatt	Ralf Dittrich <u>dittrich@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34745
	Falk Eusewig <u>eusewig@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34757
	Michael Gläser <u>glaeser@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34260
	Gerd Jaroscziński <u>jarosci@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34745

Personelle Besetzung

	Helge Knüpfel <u>knuepfel@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34260
	Peter Wermuth <u>wermuth@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34757
Fax:	Prof. Elektroenergieversorgung	37036
	Prof. Hochspannungs- u. Hochstromtechnik	37157

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 e.V.
- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-BV Dresden
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- 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
- Senior Member of the IEEE
- Member of the PSCC-Council
- EMTP-Usergroup
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- 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 „Spannungsqualität“ des FNN Berlin im VDE
- UK 767.1 „Niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen“ der DKE (Gast)
- Deutsches Komitee CIREN
- CIGRE - WG C4.112 - Guidelines for Power Quality Monitoring

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 Prof. Dr.-Ing. Schegner	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 / Prof. Dr.-Ing. Hentschel		1 / 1 / 0
Planung elektrischer Verteilungsnetze Prof. Dr.-Ing. Schegner / Dr.-Ing. Hable	2 / 0 / 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

		Lehre	
Vorlesungen / Übungen / Praktika		SS	WS
Blitzschutztechnik	2 / 0 / 0		
Prof. Dr.-Ing. Großmann			
Statistik für Elektrotechniker	2 / 0 / 1		
Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck			
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung	1 / 1 / 0		
Doz. Dr.-Ing. Bauer			
Lehrexport an andere Fakultäten – Grundstudium			
Elektrotechnik 1 + 2 für die Fakultät Maschinenwesen	2 / 2 / 0	2 / 2 / 0	
Prof. Dr.-Ing. Großmann			
Lehrexport an andere Fakultäten – Hauptstudium			
Elektroenergieversorgung		2 / 1 / 1	
für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbildenden Schulen			
Doz. Dr.-Ing. Bauer			
Hochspannungstechnik	0 / 0 / 1	2 / 1 / 0	
für Wirtschafts- und Verkehrsingenieure (Diplom)			
Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck			
Hochspannungs- und Hochstromtechnik		2 / 1 / 1	
für Wirtschaftsingenieure (Bachelor)			
Prof. Dr.-Ing. Großmann			

Forschung

- **Elektrische Energieversorgung** Seite 22

- **Hochspannungstechnik und
Hochstromtechnik** Seite 51

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

Forschungsinstitut Edelmetalle und Metallchemie

NEXANS / GPH GmbH

HEINE Resistors GmbH

High-Volt Prüftechnik Dresden GmbH

Lanz Oensingen AG

LTB Dresden

MC Stäubli Group

Multicontact

NH-/HH-Recycling-Verein
OMICRON
Partzsch Elektromotoren
PPC Insulators GmbH
Pronutec
RIBE Elektroarmaturen GmbH & Co KG
RIBE Subcon
Ritz Messwandler
Ruhrtal Hochspannungsgeräte GmbH
RWE
SMA Technologie AG
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
Werner Industrielle Elektronik
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.

Nachhaltige Energiesysteme – Interdependenz von technischer Gestaltung und gesellschaftlicher Akzeptanz

Regionales virtuelles Kraftwerk

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

- **Elektrische und magnetische Felder**

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

Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Mittelspannungs-Spannungswandlern.

Analytische Berechnungs- und messtechnische Bewertungsverfahren von Generatorstromwandlern mit erweitertem Frequenzbereich

- **Elektromagnetische Verträglichkeit**

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

- **Elektroenergiequalität und Netzzrückwirkungen**

Messgeräteunabhängiges Datenbanksystem zur zentralen Speicherung von Messdaten der Elektroenergiequalität.

Anwendung statistischer Methoden zur automatisierten und 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.



Max Domagk, Dipl.-Ing.

Identifikation von Abnehmerstrukturen in öffentlichen Niederspannungsnetzen mit Hilfe der Zeitreihenanalyse von Stromharmonischen

Die Elektroenergiequalität (Strom- und Spannungsqualität) im öffentlichen Niederspannungsnetz wird direkt von der *elektrischen* Umgebung beeinflusst, dazu zählen deren Netzstruktur, die Abnehmerstruktur und die vorhandene Erzeugerstruktur. Die Netzstruktur beinhaltet charakteristische Kenngrößen, wie zum Beispiel den speisenden Transformator oder die Anzahl und Länge der Leitungen. Die Abnehmerstruktur kann allgemein in Wohngebiete, Dienstleistungen, Einkaufszentren und besondere Abnehmer (z. B. Ärztehäuser) gegliedert werden. Die Erzeugerstruktur lässt sich nach Anzahl und Art der Anlagen, sowie die Größe der installierten Leistung unterteilen. Die *nichtelektrische* Umgebung (z. B. klimatische Bedingungen) umfasst u. a. Temperatur und Sonneneinstrahlung, welche einen indirekten Einfluss haben können.

Speziell die Abnehmerstruktur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Stromqualität im betrachteten Niederspannungsnetz. Die verlaufsorientierten Qualitätskenngrößen, wie zum Beispiel Stromharmonische, haben ein mehr oder weniger ausgeprägtes Verlaufsmuster, welches stark mit dem Tageszyklus zusammenhängt. Für bestimmte Abnehmerstrukturen lassen sich verschiedene Wochenrhythmen W definieren:

- Wohngebiete (z. B. Ein- oder Mehrfamilienhäuser) → $W\ 7-0$
- Einkaufszentren (6 Verkaufstage pro Woche) → $W\ 6-1$
- Dienstleistungen (z. B. Bürogebäude) → $W\ 5-2$

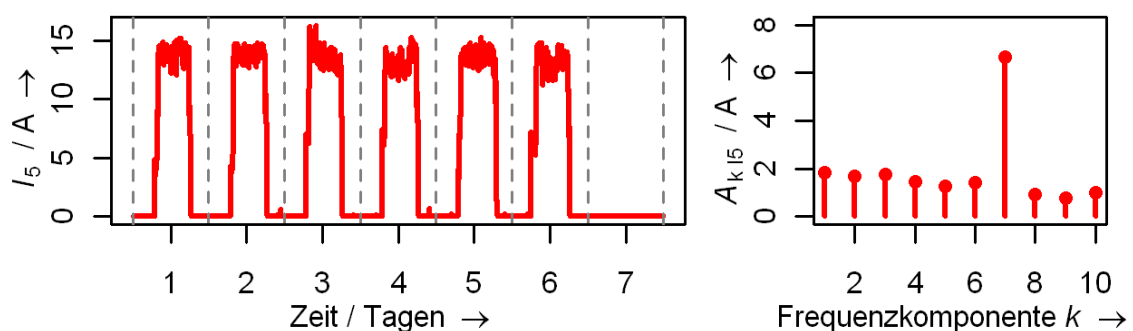


Bild 1: a) 5. Stromharmonische für ein Einkaufszentrum
Mittelungsintervall: 1 Minute, Phase: L1 b) Amplitudenspektrum
des Wochenverlaufs

Der Rhythmus W 7-0 definiert eine Woche mit sehr ähnlichen Tagen. Unterscheidet sich ein Tag deutlich vom Rest der Woche entspricht dies dem Wochenrhythmus W 6-1 (siehe Bild 1a) und für eine Woche mit 2 unterschiedlichen Tagen entsprechend dem Rhythmus W 5-2.

Die klassische Zeitreihenanalyse bietet mit dem additiven Komponentenmodell eine Möglichkeit die Ursachen, die zu dem charakteristischen Verlaufsmuster führen, zu kategorisieren. Wichtige Komponenten sind Trendkomponente, Saisonkomponente und zyklische Komponente. Letztere dient zur Beschreibung der wöchentlichen Verläufe. Die Frequenzanalyse der zyklischen Komponente für die 3 definierten Wochenrhythmen W 5-2, W 6-1 und W 7-0 liefert das Amplitudenspektrum. Die 7. Frequenzkomponente dominiert das Amplitudenspektrum deutlich, da diese dem Tageszyklus innerhalb einer Woche entspricht (siehe Bild 1b). Das Verhältnis der Summe der quadrierten Stromamplituden 1. bis 6. Ordnung zum Quadrat der Amplitude 7. Ordnung ergibt den neu definierten "Wochenrhythmuswert" R . Durch Anwendung dieses Wertes wird die Identifikation von Abnehmerstrukturen ermöglicht. In Bild 2 ist R für 5 verschiedene Messorte dargestellt und die Bereiche der jeweiligen Wochenrhythmen werden farblich unterschieden. Anhand des Median der Werte R lassen sich die Abnehmerstrukturen mit Hilfe eines einzigen Faktors voneinander unterscheiden. Auf Basis dieser Werte soll die automatisierte Identifikation für umfassende und langfristige Messkampagnen ermöglicht werden. Die Einsatzfähigkeit bei gemischten Abnehmerstrukturen wird künftig untersucht.

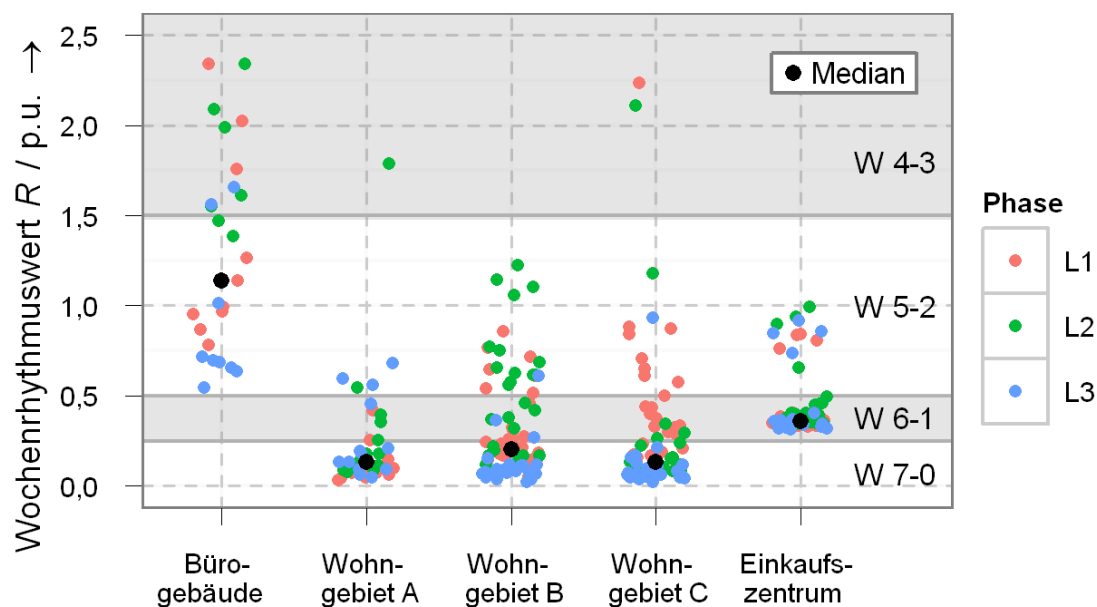


Bild 2: Wochenrhythmuswert R der 5. Stromharmonischen für 5 Messorte, Messdauer: bis zu 20 einzelne Wochen, Mittelungsintervall: 1 Minute



Etienne Gasch, Dipl.-Ing.

Datenbank zur Erfassung der Oberschwingungs-Emission von Geräten mit Bemessungsströmen kleiner 16 A

Die Elektroenergiequalität in Niederspannungsnetzen wird unter anderem durch die angeschlossenen Geräte bestimmt. Nichtlineare Verbraucher (bspw. Computer, Fernseher, Leuchtstofflampe) führen zu einer Verzerrung des Stromes. Durch den massenhaften Einsatz beeinflussen diese Geräte maßgeblich die Spannungsverzerrung im öffentlichen Niederspannungsnetz und wirken sich bis in die Hochspannungsebene aus.

In zahlreichen Studien, welche sich mit Emission von Oberschwingungsströmen beschäftigen, werden auch Messungen an Geräten mit Bemessungsstrom kleiner 16 A durchgeführt. Für weitere Studien auf diesem Gebiet ist es vorteilhaft diese weltweit durchgeführten Messungen in einer zentralen Datenbank zu speichern. Dadurch ergeben sich u.a. folgende Vorteile:

1. Die Datenbank stellt weltweit von verschiedenen Instituten durchgeführte Messungen zentral bereit. Der Umfang der Datenbasis ist damit größer, als es ein einzelnes Institut leisten könnte.
2. Dies ermöglicht effizientere, zuverlässigere und statistisch belastbare Studien zu Oberschwingungen für alle Nutzer der Datenbank.
3. Anhand der Datenbasis können Langzeittrends bei der Oberschwingungsemission der Geräte beobachtet werden.

Die Datenbank ist weder für den Vergleich zwischen Geräten unterschiedlicher Hersteller noch zur Überprüfung der Einhaltung vorgegebener Emissionsgrenzwerte vorgesehen. Deshalb werden Herstellerinformationen anonymisiert behandelt.

Die zentrale Datenbank wird auf den Servern der TU Dresden bereitgestellt. Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt über eine Web-Oberfläche (Bild 1). Diese bietet die Möglichkeit des Datenuploads und des Datendownloads. Der Datenaustausch erfolgt über ein Textdateiformat. Die Dateien können einzeln oder im Verbund als ZIP-Datei übertragen werden. Beim Datenupload werden die Messdaten in einem ersten Schritt automatisch und in einem zweiten Schritt manuell verifiziert. Für einen automatisierten Zugriff auf die Messdaten wird eine API (Application Programming Interface) bereitgestellt.

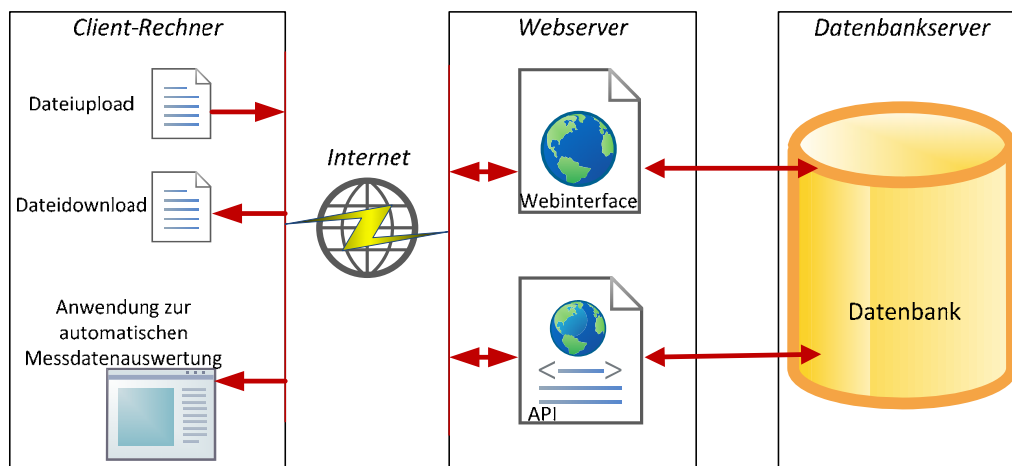


Bild 1: Prinzipieller Aufbau der Datenbank-Anwendung

Das Textdateiformat ist ein einfach zu erstellendes und zu lesendes Austauschformat. Die Datei enthält Angaben zum Benutzer und zum Labor, welches die Messungen vorgenommen hat. Es werden Informationen zum gemessenen Gerät und zur Messdurchführung, sowie die Messdaten als Oberschwingungsspektrum und als Zeitverlauf für Strom und Spannung gespeichert. Die Zeitverläufe sind dabei optional. Für die Auswertung bzw. eine erweiterte Suche in den Messdaten werden spezielle Kenngrößen (z. B. THD, D, ...) berechnet. In der Datenbank kann zwischen Messungen unter definierten Bedingungen im Labor und Messungen am öffentlichen Energieversorgungsnetz (Netzspannung) unterschieden werden. So können bspw. alle Messungen bei sinusförmiger Versorgungsspannung einfach abgefragt werden.

Die Web-Oberfläche befindet sich unter folgendem Link:

<http://harmonic-db.wcms-file2.tu-dresden.de>

Jedes Institut kann sich mit eigenen Messungen an dieser Datenbank beteiligen. Nutzer der Datenbank erhalten uneingeschränkten Zugriff auf alle dort enthaltenen Messungen, sind aber dazu angehalten, auch eigene Messungen zur Verfügung zu stellen. Bei Interesse kann man sich an das Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik der TU Dresden wenden, um einen Zugang zur Datenbank zu bekommen (Email: panda@ieeh.et.tu-dresden.de).

Aktuell sind Messdaten von mehr als 100 Kompaktleuchtstofflampen aus über 5 Ländern in der Datenbank enthalten. Zukünftig soll neben weiteren Messdaten zu verschiedenen Geräten auch ein Ausbau der Web-Oberfläche erfolgen. Eine Auswertung in Diagrammen (bspw. Scatterplots) oder in tabellarischer Form soll einen Überblick über die Messdaten sowie erste statistische Ergebnisse anzeigen.



Christian Henze, Dr.-Ing.

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

Die ständig wachsende Zahl von Stromrichteranlagen, sowohl im Mittelspannungs- als auch im 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 eine 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 betrags- und phasenrichtige Übertragung der Oberschwingungsströme in ausreichender Genauigkeit gewährleisten.

Um das Frequenzübertragungsverhalten von MS-Stromwandlern bestimmen zu können, wurde ein vorhandener Stromverstärker für die Anwendung im Frequenzbereich bis 10 kHz bei einem maximalen Ausgangsstrom von 65 A ertüchtigt und erweitert. Die erstellte Messsoftware ermöglicht eine vollständig automatisierte Messung eines Stromwandlers mit einer konkreten Bürde. Die Strommessung erfolgt primär- und sekundärseitig über induktivitätsarme Shunts. Die Genauigkeit der gesamten Messordnung wurde als hinreichend gut nachgewiesen. Hierfür sind jedoch der Einsatz von doppelt geschirmten Messkabeln und eine fachgerechte Erdung unerlässlich.

Die Analyse der Einflussfaktoren auf den Frequenzgang und die Messung der von RITZ gefertigten Stromwandler zeigt, dass die Parameter des Eisenkerns (Material, Leitfähigkeit, Eisenverluste, Blechdicke usw.), die Amperewindungszahl der primären Erregung sowie die Bürde besonders entscheidend sind. Die Kernparameter bestimmen die Verluste des Wandlers und die Hauptfeldinduktivität in Abhängigkeit von der Frequenz. Dadurch werden die Amplitudenmessabweichung und der Fehlwinkel des Wandlers beeinflusst. Bei der Bürde ist zwischen rein ohmschen und ohmsch induktiven zu unterscheiden. Letztere werden als besonders ungünstig angesehen.

hen, da sich die induktive Belastung mit steigender Frequenz erhöht und somit den Fehler vergrößert.

Um die gemessenen Effekte berechnen zu können, wurde ein analytisches Modell auf Grundlage des Ersatzschaltbildes erarbeitet. Dieses bildet die Hauptinduktivität und die Eisenverluste in Abhängigkeit von der Frequenz und der Induktion ab. Grundvoraussetzung hierfür ist die Messung der Magnetisierungskennlinien der verschiedenen Kernmaterialien in Abhängigkeit der Frequenz und der Induktion. Für ausgewählte Wandler wurden die berechneten Frequenzgänge mit den gemessenen verglichen und eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt (Bild 1).

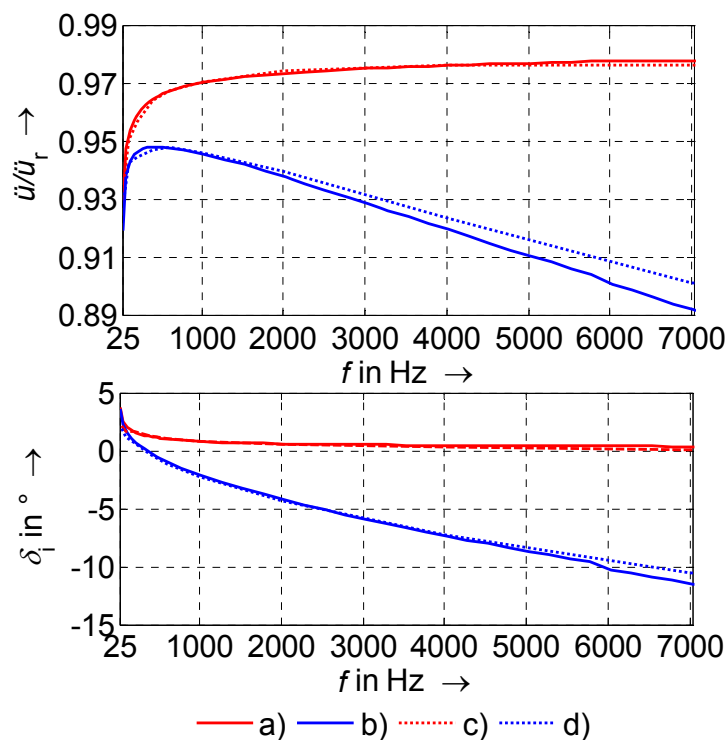


Bild 1:
Vergleich Messung (durchgezogene) und Berechnung (gestrichelt) des Frequenzübertragungsverhaltens eines Stromwandlermodells (400:5, $S_r=1VA$, konventionelles Kernmaterial)
für
a)/c) $S=25VA$ mit $\cos(\beta)=1$;
b)/d) $S=27VA$ mit $\cos(\beta)=0.996$

Zur Optimierung der Stromwandler werden Variationsrechnungen mit dem analytischen Modell durchgeführt. Diese zeigen, dass ein neuartiges, nanokristallines Kernmaterial die besten Voraussetzungen für die Herstellung von MS-Stromwandlern mit erweitertem Frequenzbereich bietet. Dies liegt besonders in der sehr großen Unabhängigkeit der Permeabilität als auch der Verluste im Eisen von der Frequenz und Induktion begründet. Die Berechnungen und Messungen zeigen, dass sowohl für ohmsche ebenso wie für ohmsch-induktive Bürden sehr gute Frequenzgänge erzielt werden können. Weiterhin zeigen die Berechnungen, dass auch mit konventionellen Kernmaterialien gute Frequenzübertragungsverhalten realisierbar sind. Hierfür ist der Wandler intern rein ohmsch zu bebürden und ein Spannungsausgang vorzusehen. Der positive Einfluss mittlerer und hoher AW-Zahlen auf den Frequenzgang ist sowohl für konventionelles als auch für das neuartige Kernmaterial nachweisbar.



Tobias Heß, Dipl.-Ing.

Vergleich von statischer und dynamischer Simulation von Mikro-KWK-Anlagen

Mikro-Grids sind ein viel diskutierter und zukunftssträchtiger Lösungsansatz für die aktuellen Herausforderungen in der elektrischen Energieversorgung. In Mikro-Grids werden auf lokaler Ebene erzeugte und verbrauchte Energie ausgeglichen und damit die Integration von erneuerbaren Energieträgern unterstützt. Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist ein integraler Bestandteil solcher Netze.

Mit der Zunahme von Mikro-KWK-Anlagen ist es notwendig diese zu koordinieren, um die Einflüsse auf das elektrische Netz zu minimieren und den Vorteil der KWK voll ausnutzen zu können [1]. Die Koordination der Anlagen erfordert eine dynamische Regelung der Anlage mit einer hohen Zahl von Regelvorgängen. Untersuchungen an Netzen mit Mikro-KWK-Anlagen bezüglich des Betriebs und ihrer Effizienz werden üblicherweise mit Lastflussberechnungen und statischen Wirkungsgradkennlinien der Mikro-KWK-Anlagen durchgeführt [2]. Die dynamischen Regelvorgänge werden also nicht betrachtet. Ziel der Arbeit ist es, den Unterschied zwischen den Ergebnissen verschiedener Simulationsmethoden zu bewerten, wenn die Mikro-KWK-Anlage eine hohe Zahl an Regelvorgängen durchführt.

Grundlage für diese Untersuchungen bildet ein dynamisches Modell der Mikro-KWK-Anlage, das neben dem Generator auch einen Verbrennungsmotor mit möglichst genauer Nachbildung der internen Verluste enthält (vgl. [3]). Abbildung 1 zeigt dieses Modell. Neben den lastabhängigen Verlusten werden auch temperatur- und drehzahlabhängige Verluste berücksichtigt. Die Verluste werden nach Gleichung (1) berechnet.

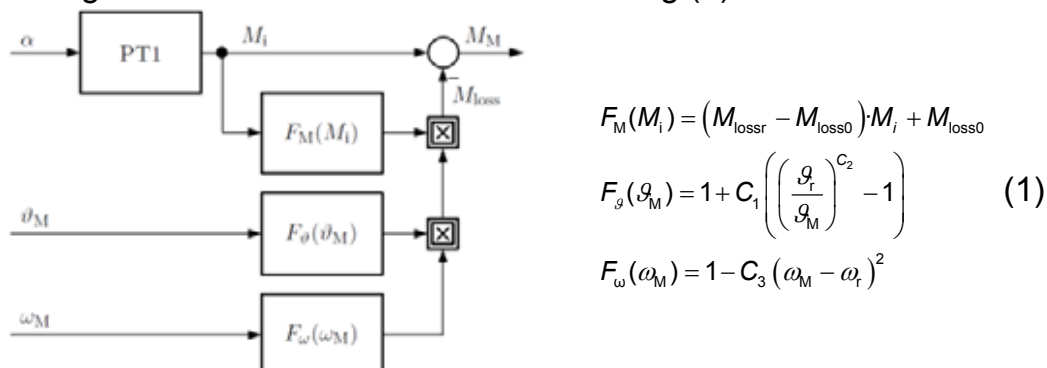


Bild 1: Modell des Verbrennungsmotors

Die Parameter des Modells werden durch Messung bei Kaltstart der Mikro-KWK-Anlage ermittelt. Abbildung 2 zeigt die gemessenen Verläufe sowie die

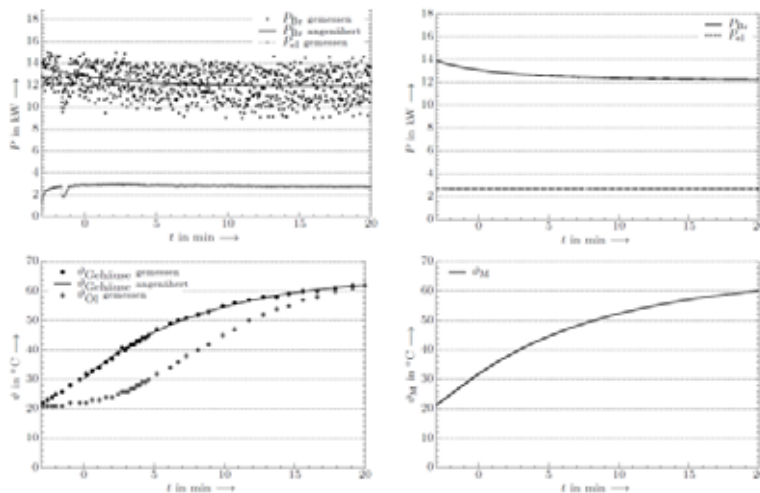


Bild 2: Vergleich gemessen (links) und gemessen (rechts) Leistungs- und Temperaturverläufe

Lastszenarien verglichen. In der dynamischen Simulation folgt die KWK-Anlage jeweils der Last. Die Lastflusssimulation wird dagegen mit dem 15 min Mittelwert der Last durchgeführt. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

Tabelle 1: Simulationsergebnisse

	E_{el}	E_{th}
Lastflussberechnung	638Wh	2928Wh
Dynamische Simulation		
Lastsprung $\Delta T = 450s$	637Wh (-0,06%)	2937Wh (+0,28%)
Lastsprung $\Delta T = 90s$	637Wh (-0,06%)	2935Wh (+0,23%)
Lastrampe $\Delta T = 450s$	637Wh (-0,05%)	2931Wh (+0,07%)
Lastrampe $\Delta T = 90s$	637Wh (-0,05%)	2930Wh (+0,06%)
Kaltstart	628Wh (-1,48%)	3044Wh (+3,78%)
Warmstart	628Wh (-1,46%)	2925Wh (-0,12%)

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der dynamischen Simulation der Brennstoffbedarf E_{th} erhöht sowie die erzeugte elektrische Energie E_{el} reduziert ist. Bei reinen Laständerungen ergeben sich allerdings keine signifikanten Unterschiede. Beim Starten der Anlage treten aber deutlich Unterschiede auf. Eine Lastflussberechnung zur Effizienzbewertung von Mikro-KWK-Anlage ist also nur unter Beachtung der Verluste beim Anlagestart möglich.

- [1] M. Pielke, M. Kurrat and N. Falke, "Feldversuch eines netzorientiert betriebenen virtuellen Kraftwerks auf Basis von Mini-BHKW der Hausenergieversorgung," in *ETG-Kongress 2009*, 2009, vol. Paper 1.6
- [2] T. Heß, "Grundlagen der gekoppelten dynamischen Modellierung der elektrischen und thermischen Prozesse von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen", Technische Universität Dresden, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, 2010
- [3] T. Heß, J. Seifert and P. Schegner, "Comparison of Static and Dynamic Simulation for Combined Heat and Power Micro-Units", in *Proceedings of the 17th PSCC*, 2011



Matthias Klatt, Dipl.-Ing.

Weiterentwicklung eines Messsystems zur Erfassung von höherfrequenten Störpegeln in öffentlichen Niederspannungsnetzen

Die zunehmende Zahl von Photovoltaikanlagen, insbesondere in Deutschland, stellt die Verteilnetze der Zukunft und deren Betreiber vor immer neue und wachsende Aufgaben.

Neben der Erzeugung von Wirk- und Blindleistung sind diese Wechselrichter auch Quelle von Störaussendungen. Dies sind zum einen niederfrequente, charakteristische Harmonische, die bei Einsatz selbstgeführter Topologien deutlich niedriger ausfallen, als bei netzgeführten Systemen. Selbstgeführte leistungselektronische Systeme arbeiten jedoch meist auf Basis einer Pulsweitenmodulation mit fester Schaltfrequenz. Diese Schaltfrequenz findet sich im Spektrum des ausgesendeten Stromes wieder.

Im Bereich bis 2 kHz existieren ortsabhängige, koordinierte Grenzwerte für die Verträglichkeitspegel (Normenreihe IEC 61000-2-X) und die Störaussendung (Normenreihe IEC 61000-3-X) der am Netz betriebenen Geräte. Weiterhin sind Störfestigkeitsgrenzwerte in der IEC 61000-4-8 gegeben. Hingegen gibt die EN 50160 ortsunabhängige Werte für die Spannungsqualität an, mit der Kunden an ihrer Übergabestelle rechnen können.

Oberhalb von 2 kHz bis 150 kHz besteht eine Grenzwertlücke. Bis 9 kHz gibt die IEC 61000-2-2 informative Werte, darüber hinaus existieren keinerlei Angaben. Zu dieser Problematik sind bereits Arbeiten innerhalb der IEC und der CENELEC in Gang und das vorgestellte Projekt soll einen Beitrag dazu liefern. Dafür werden die im NS-Netz auftretenden, hochfrequenten Störgrößen erfasst.

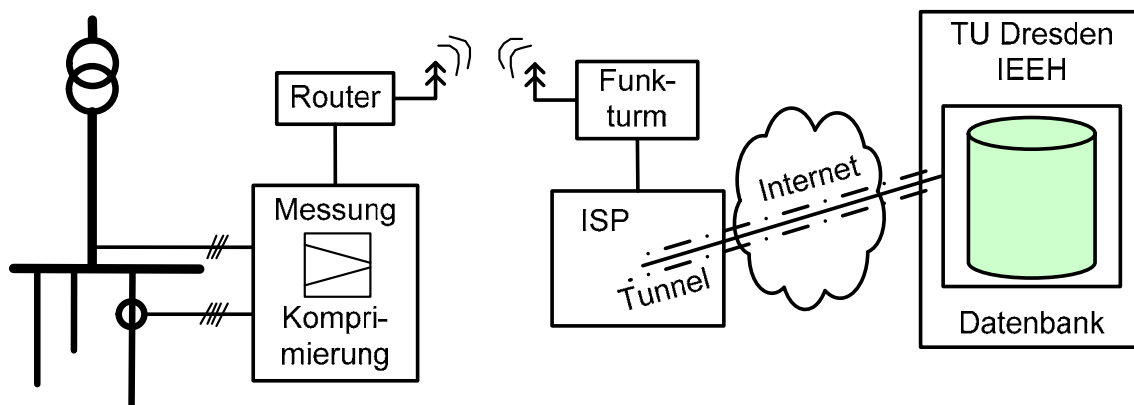


Bild 1: Datenstrecke von der Messung bis zur Speicherung

Im Rahmen dieser Messkampagne werden von den eingesetzten Messgeräten Ströme und Spannungen im Frequenzbereich von 2 kHz bis 40 kHz mit Betrag und Winkel erfasst. Zu den Herausforderungen zählt unter anderem die große Datenmenge, die bei solchen langfristigen Messungen entsteht. Bei Speicherung des unkomprimierten Spektrums fallen rund 1,5 MB pro Minute an, was einem Jahresvolumen von 46 TB entspricht. Dieses Volumen lässt sich auf Dauer weder sinnvoll übertragen noch speichern.

In Zusammenarbeit mit dem Hersteller wurde eine spezielle Software für die eingesetzten Messgeräte entwickelt. Diese fasst entsprechend der Empfehlungen der 61000-4-7 die höherfrequenten Anteile in 200 Hz-Bänder zusammen. Zusätzlich werden niederfrequente Spektralanteile bis 2 kHz mit Betrag und Winkel gespeichert, wenn die jeweilige Amplitude oberhalb einer gewissen Rauschgrenze liegt. Diese Daten werden dann gepackt und an den Server übermittelt. Dadurch konnte eine Datenreduktion über 95 % erzielt werden. Das Übertragungsprinzip ist in Bild 1 dargestellt.

Beispielhaft ist in Bild 2 das bezogene Spektrum der Spannung in einem Leiter in einem Netz mit und ohne Photovoltaikeinspeisung dargestellt. Mit dargestellt sind die Bereiche, in denen die Werte der EN 50160 gelten, sowie die informativen Werte aus der IEC 61000-2-2. Im Spektrum ist ein deutlicher Pegelanstieg bei 17,5 kHz (Schaltfrequenz der Wechselrichter) im Netz mit Photovoltaikeinspeisung zu sehen. Die Störpegel können bereits heute die Höhe der informativen Werte der IEC 61000-2-2 erreichen. Dies wurde durch Messungen in anderen NS-Netzen bestätigt.

Das langfristige Ziel ist ein tiefgreifendes Verständnis der Entstehungs-, Ausbreitungs- und Dämpfungsmechanismen der hochfrequenten Störungen im Netz.

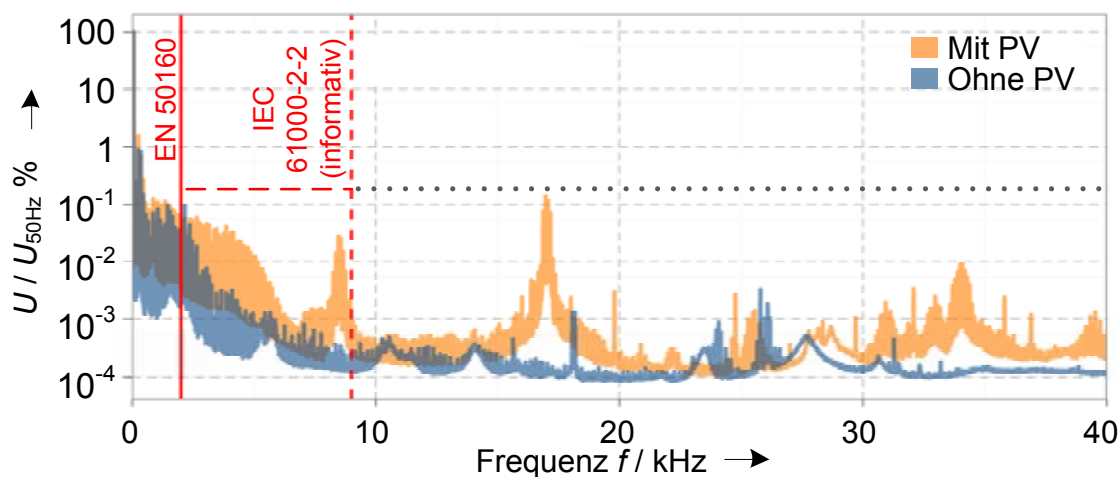


Bild 2: Spektrum der Spannung in zwei Niederspannungsnetzen



Jan Meyer, Dr.-Ing.

Überlagerung der niederfrequenten Oberschwingungen elektronischer Massengeräte

Aufgrund politischer Rahmenbedingungen wird die Glühlampe schrittweise durch moderne Energiesparlampen ersetzt. Im Vergleich zur Glühlampe belasten moderne Lampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (Kompaktleuchtstofflampe, LED-Lampe) das Netz mit Oberschwingungen. Die Grenzwerte der Oberschwingungsströme für diese Lampen sind in EN 61000-3-2 vorgegeben und wurden unter bestimmten Annahmen festgelegt. Eine dieser Annahmen ist eine effektive Kompensation zwischen den Oberschwingungsströmen von Energiesparlampen und anderen elektronischen Geräten, wie bspw. Fernsehern oder Computern. Ein Kompensationseffekt wird immer dann erreicht, wenn die Winkellagen der Oberschwingungsströme verschiedener Gerätegruppen unterschiedlich sind. Sind die Oberschwingungsströme zweier Geräte bei ähnlicher Amplitude gegenphasig, heben sie sich praktisch auf.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde die Effektivität des Kompensationseffektes für aktuelle am Markt verfügbare Energiesparlampen und typische elektronische Kleingeräte für den Massenmarkt untersucht. Dazu wurden die Oberschwingungsströme von ca. 100 Energiesparlampen und 50 weiteren elektronischen Geräten, hauptsächlich mit Leistungen im Bereich der Energiesparlampen analysiert. Für die Auswertungen wird der Gleichphasigkeitsfaktor k_p verwendet. Er repräsentiert das Verhältnis zwischen dem Betrag der Vektorsumme und der arithmetische Summe (Summe der Beträge). Sein Wertebereich liegt zwischen 0 und 1, wobei $k_p = 0$ beste Kompensation (Auslöschung) und $k_p = 1$ keine Kompensation bedeuten.

Bild 1 zeigt die 5. Stromharmonische für alle gemessenen Kompaktleuchtstofflampen (KLL[A1]). Alle Lampen wurden zufällig ausgewählt und anonym in Supermärkten, Elektronikgeschäften oder per Versand gekauft. Die Stichprobe enthält sowohl Markenprodukte als auch „No-Name“-Produkte und stellt einen guten Querschnitt für den deutschen Markt dar. Die meisten KLL haben eine Leistung von 11 W, was im Hinblick auf die Lichtausbeute etwa einer 60-W-Glühlampe entspricht. Die Gleichphasigkeit aller KLL ist mit $k_p = 0,93$ sehr hoch und bedeutet, dass praktisch keine Kompensation der 5. Stromharmonischen zwischen den KLL auftritt.

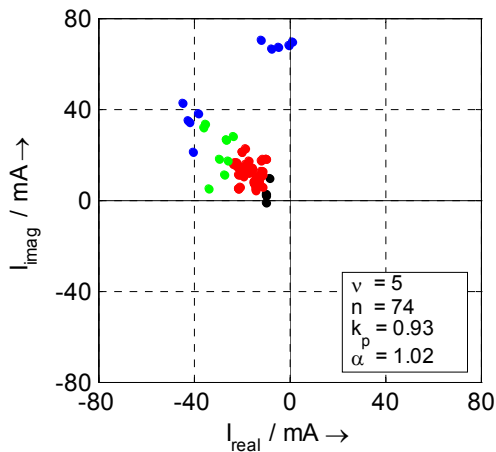


Bild 1: 5. Stromharmonische von Kompaktleuchtstofflampen (Farbe markiert unterschiedliche Leistungsbereiche)

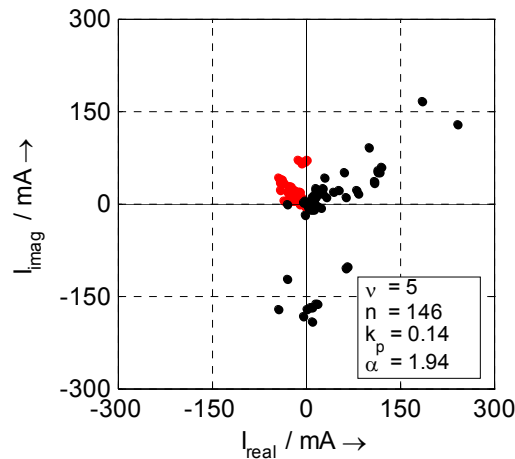


Bild 2: Überlagerung von Energiesparlampen (rot) mit anderen Haushaltgeräten (schwarz)

Bild 2 zeigt die Überlagerung von 84 KLL [A1] mit 62 elektronischen Geräten. Es ist zu erkennen, dass unterschiedliche Gerätetechnologien unterschiedliche Vorzugswinkellagen für die 5. Stromharmonische aufweisen (z. B. passive Leistungsfaktorkorrektur im Bereich um -90°). Die 5. Stromharmonischen der KLL liegen im 2. Quadranten und damit sehr günstig im Vergleich zu den anderen Geräten. Der Gleichphasigkeitsfaktor für diese Gerätekombination ist mit $k_p = 0,11$ sehr gering und die Kompensation somit sehr effektiv. Es zeigt aber auch, dass der Grad der Kompensation maßgeblich von Amplitude und Phasenlage der elektronischen Geräte abhängt. Änderungen der Gerätedurchmischung oder der eingesetzten Schaltungstechnologie bei den elektronischen Geräten kann signifikanten Einfluss auf die Effektivität der Kompensation haben. Darüber hinaus ist die Effektivität der Kompensation auch von der untersuchten Oberschwingungsordnung abhängig. Die 3. Stromharmonische besitzt bspw. für die gleiche Gerätekombination mit $k_p = 0,54$ eine weniger gute Kompensation.

Eine gezielte Überwachung von Betrag und Phase der Oberschwingungsströme im öffentlichen Niederspannungsnetz kann einen wertvollen Beitrag zur frühzeitigen Erkennung einer negativen oder positiven Beeinflussung der Effektivität der Kompensation, bspw. aufgrund von Veränderungen der Gerätemischung, leisten. Fundierte Messungen können damit eine konstruktive Normungsarbeit wirksam unterstützen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sind wir an historischen aber auch aktuellen Messdaten niederfrequenter Stromharmonischen nach Betrag und Phase aus öffentlichen Niederspannungsnetzen interessiert.

(Kontakt: jan.meyer@tu-dresden.de).

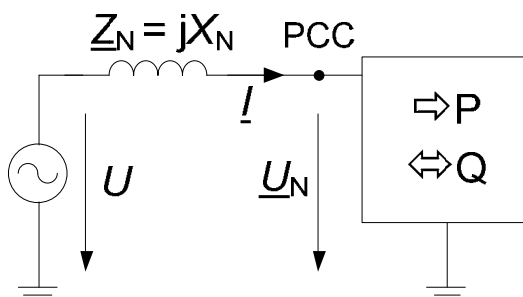


Jörg Meyer, Dipl.-Ing.

Bewertung der Spannungsstabilität von Elektroenergiesystemen unter Berücksichtigung verlustbehafteter Übertragungsleitungen und unterschiedlicher Leistungsflussrichtungen

Im Hinblick auf die steigende Auslastung der Netze und die durch erneuerbare Energien zusätzlich eingespeisten Leistungen wird die Untersuchung der Spannungsstabilität von Elektroenergiesystemen immer wichtiger. Die konventionelle Betrachtungsweise geht dabei von verlustlosen Übertragungsleitungen und Wirkleistungsabgabe am Verbraucher aus. Für die Betrachtung von Mittel- und Niederspannungsnetzen mit dezentralen Erzeugungsanlagen sind diese Vereinfachungen nicht mehr zulässig. Der ohmsche Anteil der Übertragungsleitung und die zusätzliche Wirkleistungseinspeisung muss betrachtet werden.

Klassische Bewertung der Spannungsstabilität



Das in Bild 1 dargestellte Ersatzschaltbild dient der klassischen Herleitung der Berechnung der Spannung am Netzanschlusspunkt (PCC) in Abhängigkeit von der abgegebenen komplexen Leistung. Es ergeben sich die bekannten „Nasenkurven“ $u = f(p)$ (Bild 2) und $u = f(q)$ (Bild 3).

Bild 1: Vereinf. Ersatzschaltbild

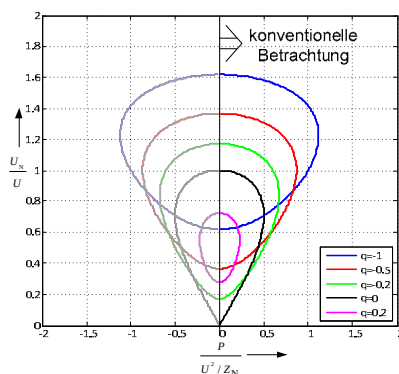


Bild 2: Vereinf. „Nasenkurve“ $u = f(p)$

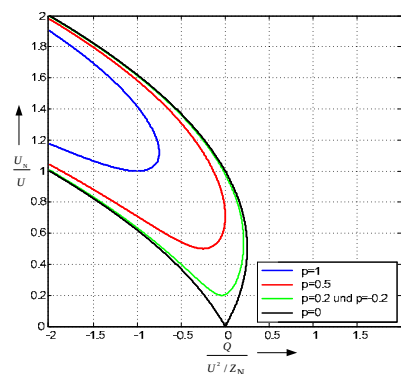
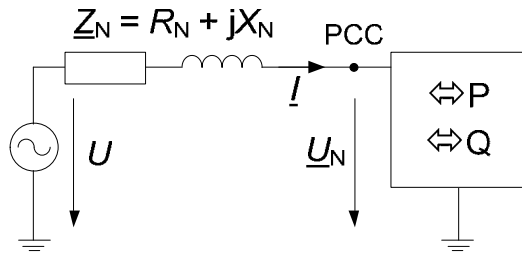


Bild 3: Vereinf. „Nasenkurve“ $u = f(q)$

Erweiterte Bewertung der Spannungsstabilität für ohmsch-induktive Netze und Wirkleistungseinspeisung



Bei dem neuen Ansatz werden Resistanz der Leitungen und eine mögliche Wirkleistungseinspeisung berücksichtigt. Die „Nasenkurven“ verändern sich wie in den folgenden Bildern dargestellt.

Bild 4: Vollst. Ersatzschaltbild

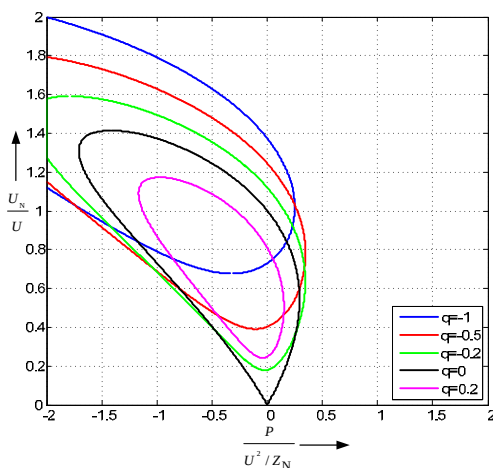


Bild 5: Vollst. „Nasenkurve“ $u = f(p)$

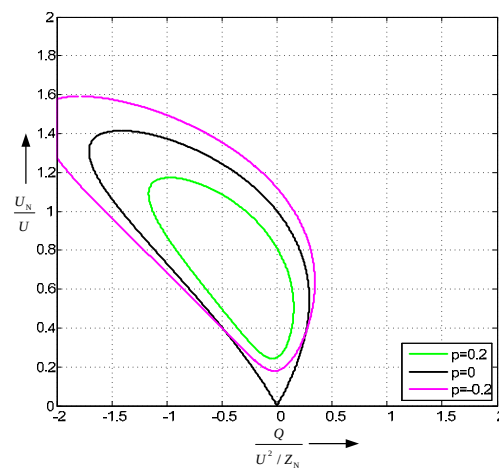


Bild 6: Vollst. „Nasenkurve“ $u = f(q)$

Zur einfachen Veranschaulichung wurde mit einem R/X-Verhältnis der Netzimpedanz von $R_N/X_N = 1$ gerechnet. Dies erklärt die Ähnlichkeit der Kurven in den Bildern 5 und 6.

Zusammenfassung

Erst durch die Berücksichtigung des resistiven Anteils der Netzimpedanz zeigt sich die bekannte Spannungserhöhung bei Wirkleistungseinspeisung. Nur bei Berücksichtigung einer induktiven Netzimpedanz ist dies nicht erkennbar. Diese Spannungserhöhung kann durch zusätzliche Blindleistungsabnahme ($q > 0$) beim gemischten Netz kompensiert werden, allerdings zu Lasten der maximalen Wirkleistungseinspeisung. Das Spannungsmaximum fällt nicht mit dem Punkt der maximalen Wirkleistungseinspeisung zusammen. Darauf aufbauend sollen weiterführend Untersuchungen zur Bewertung der Systemstabilität derartiger Netze und bei unterschiedlichen Last- und Erzeugungssituationen durchgeführt werden.



Roberto Schulze, Dr.-Ing.

Fehlerortung an unsymmetrischen Leitungen unter Berücksichtigung der Verdrillungsorte

Zur Minimierung der Ausfallzeiten einer Leitung sowie der daraus resultierenden Kosten für Netzbetreiber ist eine schnelle Fehlerortung wichtig. Die derzeit eingesetzten Verfahren zur Fehlerortung basieren meist auf Algorithmen, die auf der Hardware von Schutzgeräten implementierbar sind, auf stationären Zeigern beruhen und nur Stördaten einer Station analysieren. Mit diesen Eigenschaften und der Annahme symmetrisch aufgebauter Leitungen erzielen diese Fehlerortungsverfahren Genauigkeiten von 5-10 % bezogen auf die Leitungslänge. D. h. bei einer 100 km langen Leitung ist ein 5-10 km langer Leitungsabschnitt abzusuchen. Um die Ausfallzeit möglichst gering zu halten, sollte zur Fehlerortung so viel Information wie möglich (zweiseitige Stördatenanalyse, Kenntnis der Verdrillungsorte) einbezogen werden. Zusätzlich überwindet die Anwendung von Signalmodellen in Kombination mit einer statistischen Analyse Nachteile einer Rechnung im Frequenzbereich mit stationären Zeigern.

Modell der fehlerbehafteten Leitung

Das Verfahren zur Fehlerortung basiert auf einem detaillierten Leitungsmodell, welches die Asymmetrie der Leitung innerhalb der Verdrillungsabschnitte und die Verdrillungsorte berücksichtigt, Bild 1.

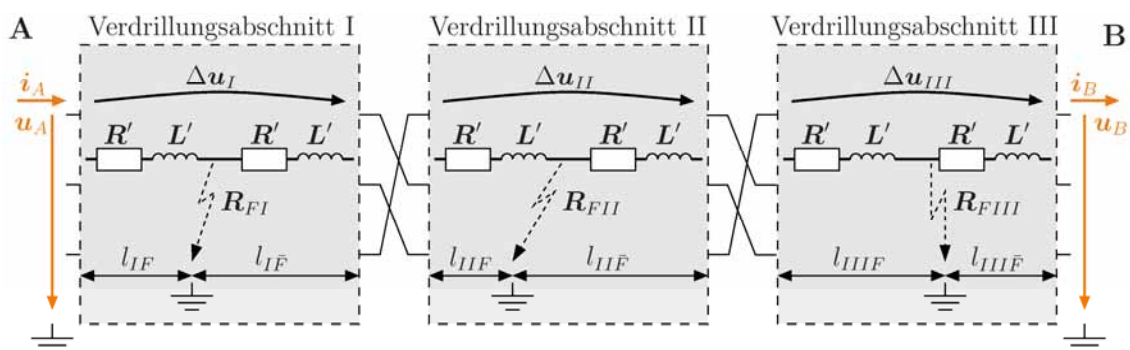


Bild 1: Modell der fehlerbehafteten Leitung mit α_1 -Verdrillungsschema

Ableitung des Fehlerortungsalgorithmus

Grundlage der Fehlerortung ist der Spannungsabfall entlang der Leitung, wobei die zweiseitige Analyse zu einer Unabhängigkeit von der Fehlerresistenz führt. Die Formulierung des Längsspannungsabfalls erfordert entsprechend des Verdrillungsschemas ein Vertauschen der Elemente von

Spannungs- und Stromvektoren. Dies geschieht vorteilhaft mithilfe der Permutationsmatrix $\mathbf{P}$. Die Grundgleichung lautet somit

$$\mathbf{u}_A - \mathbf{P}\mathbf{u}_B = \Delta\mathbf{u}_I(\mathbf{i}_A, \mathbf{i}_B) + \mathbf{P}^T \Delta\mathbf{u}_{II}(\mathbf{i}_A, \mathbf{i}_B) + \mathbf{P} \Delta\mathbf{u}_{III}(\mathbf{i}_A, \mathbf{i}_B). \quad (1)$$

Im Folgenden ist zwischen den drei möglichen Fehlerorten in Verdrillungsabschnitt I, II und III zu differenzieren. Die Betrachtung dieser Fälle führt jeweils zu speziellen Termen für die Längsspannungsabfälle $\Delta\mathbf{u}_I, \Delta\mathbf{u}_{II}, \Delta\mathbf{u}_{III}$. Letztendlich ergibt sich für jeden der drei Fälle ein Gleichungssystem. Im Fall I ist bspw. Δl_{IF} unbekannt, usw. Nach dem Lösen der drei Gleichungssysteme ergibt sich der korrekte Fehlerort durch Prüfen der Bedingung $0 < l_{IF} < l_i, i \in \{I, II, III\}$. l_i bezeichnet die Länge des i-ten Verdrillungsabschnitts.

Verifikation des Fehlerortungsverfahrens

Der Vorteil der Berücksichtigung der Leitungsasymmetrie ist bereits deutlich bei Untersuchung des Fehlerortungsverfahrens an einer unverdrillten, d. h. unsymmetrischen Leitung erkennbar.

Wesentlich größer ist der Vorteil der Berücksichtigung der Leitungsasymmetrie und der Verdrillungsorte bei der Fehlerortung an einer verdrillten Leitung. Das Leitungsmodell einer 220 kV/150 km Leitung, welches Teil des dynamischen Drehstromnetzmodells des IEEH ist, diente der Verifikation mittels realitätsnahen Stördaten. Bild 2 enthält die Ergebnisse des neuen Fehlerortungsverfahrens. Bei 10, 20, 50, 80 u. 90 % der Leitungslänge wurden zweipolige Fehler eingelegt.

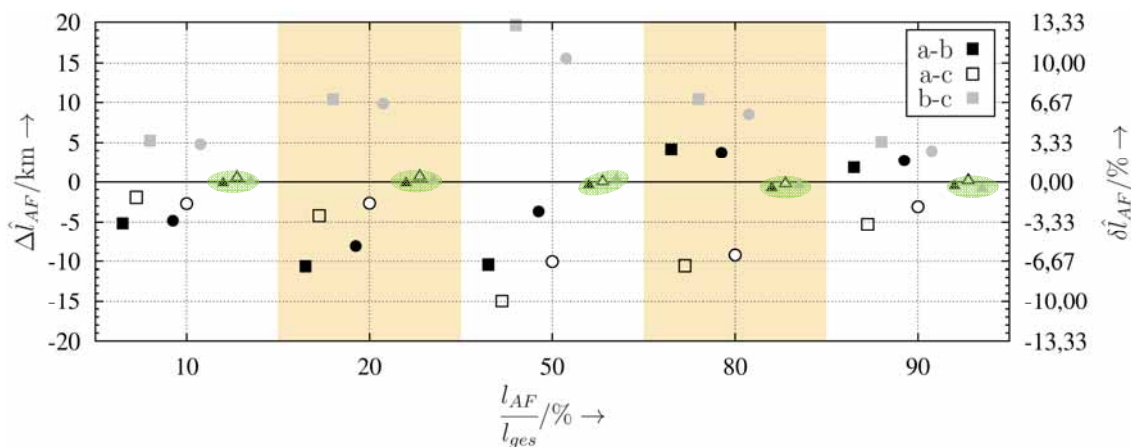


Bild 2: Absolute und relative Fehler der berechneten Orte zweipoliger Fehler an einer Leitung mit α_1 -Verdrillungsschema.

Es ist erkennbar, dass mit dem konventionellen einseitigen Verfahren basierend auf dem Phadke-Ibrahim-Algorithmus (Quadrature) schlechtere Ergebnisse erzielbar sind. Erst die Berücksichtigung der Leitungsasymmetrie sowie der Leitungsverdrillung führt zu sehr präzisen Fehlerorten.



Robert Stiegler, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zur Messgenauigkeit von Rogowskispulen

Am Institut werden im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte die Auswirkungen des vermehrten Einsatzes neuer Technologien wie bspw. selbstgeführter Wechselrichter in Photovoltaikanlagen oder Elektrofahrzeugen auf die Strom- und Spannungsqualität in Niederspannungsnetzen untersucht. Diese Untersuchungen werden notwendig, da zurzeit relativ wenig über die Ausbreitungs- und Überlagerungsmechanismen höherfrequenter Ströme und Spannungen bekannt ist, die Emissionen aber kontinuierlich steigen. Für die Strommessung werden Rogowskispulen eingesetzt, da mit ihnen eine berührungslose Messung von Strömen ohne Auftrennung des Stromkreises möglich ist und sie eine Messung von Strömen bis zu 100 kHz gestatten.

Die Messgenauigkeit wird von Herstellern nur für die Idealposition und die Bemessungsfrequenz angegeben. Die Idealposition für Rogowskispulen bedeutet, dass sich der Leiter konzentrisch und rechtwinklig in der Spule befindet. Im praktischen Einsatz ist es nicht möglich die Idealposition einzuhalten (Bild 1).

Im Rahmen des vorgestellten Projektes wurde die Messgenauigkeit von fünf Rogowskispulen mit dem jeweils zugehörigen Messgerät überprüft.

Ein Aspekt dieser Untersuchung ist die Positionsabhängigkeit der Messgenauigkeit. Dafür wurden die Rogowskispulen in einem nicht ferromagnetischen Rahmen mit einem vertikalen Leiter platziert. Der Messstrom wurde mit einer frei programmierbaren Stromquelle (maximale Ausgabeungenauigkeit 0,05 %) eingeprägt. Bei der Variation der Position des Leiters innerhalb der Spule zeigten sich für 4 der 5 untersuchten Spulen große Abweichungen in der Messgenauigkeit (siehe Bild 2).



Bild 1: Positionierung der Rogowskispulen bei einer Feldmessung

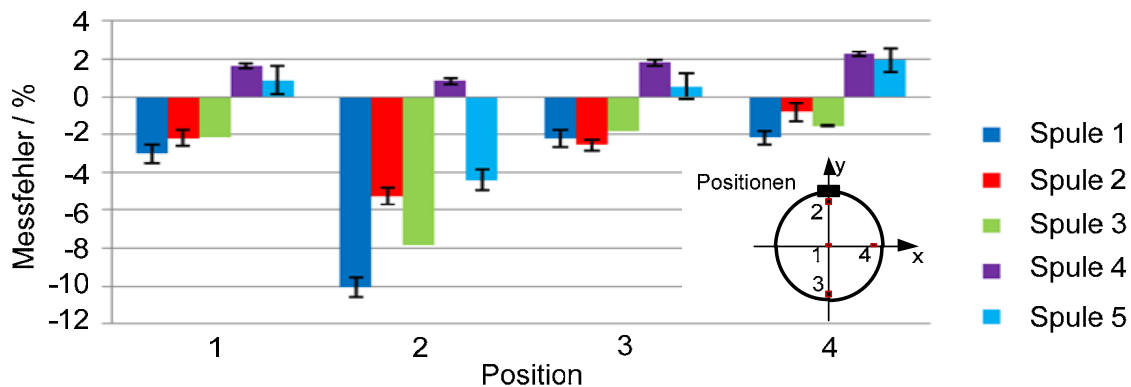


Bild 2: Positionsabhängige Messgenauigkeit bei rechtwinkliger Leiterführung

Die größte Ungenauigkeit tritt auf, wenn der Leiter direkt am Spulenschloss (Position 2) positioniert wird. Ursache hierfür ist die Lücke der Spule, die sich im Verschluss befindet. Der magnetische Fluss in der Lücke kann nicht zur Strommessung genutzt werden. Je näher sich der Leiter an der Lücke befindet, desto höher ist der Fluss in der Lücke im Vergleich zur restlichen Spule. Die gemessenen Stromwerte werden somit geringer. Basierend auf Röntgenuntersuchungen wurden die Lückengrößen vermessen und der innere Aufbau der Spulen analysiert (siehe Bild 3). Dabei konnte qualitativ nachgewiesen werden, dass bei gleicher Wicklungsfläche die Beeinflussbarkeit mit der Lückengröße steigt.

Die Beeinflussbarkeit der Messgenauigkeit durch die Lage der Spule während der Messung darf somit nicht vernachlässigt werden. Da es praktisch meist nicht möglich ist, den Leiter rechtwinklig und konzentrisch in der Spule zu platzieren, sollte das Schloss der Spule soweit wie möglich vom Leiter entfernt sein um den Messfehler zu minimieren.

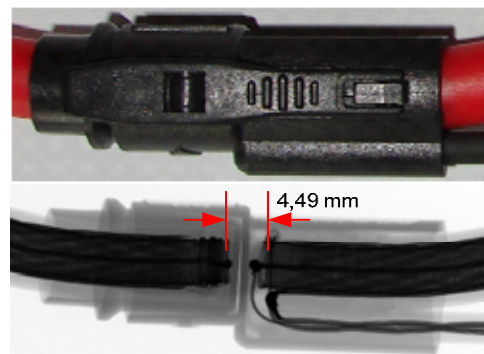


Bild 3: Schloss einer Rogowskispule
oben: Photo
unten: Röntgenbild

Neben der Positionsabhängigkeit wurden im Rahmen des vorgestellten Projektes unter anderem auch die Winkelabhängigkeit und der Einfluss benachbarter Phasenleiter auf die Messgenauigkeit untersucht. Ferner wurde der Dynamikbereich analysiert, da praktisch immer der Grundschwingungsanteil des Stromes wesentlich größer als der höherfrequente Strom ist.

Durch die Neuanschaffung einer Stromquelle kann der untersuchte Frequenzbereich nun bis 75 kHz erweitert werden.

Diplomarbeiten

Gunkel, David (Fak. Wirtschaftswissenschaften)

Optimal scheduling of distributed generation units in micro grids considering system stability

DA 07/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Walter, Christoph

Aufbau eines Versuchsstandes zum Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren mit Untersuchung der Lastflussregelmöglichkeiten beim Parallelbetrieb von Transformatoren

DA 08/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Dorado, Alicia

Analysis and comparison of harmonic emissions caused by photovoltaic inverters in Spanish and German public low voltage grids

DA 09/2010 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Bräuer, Sven

Bewertung der Stabilität von Elektroenergiesystemen – Grundlagen und anschauliche Berechnungsbeispiele

DA 02/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Schley, Willi

Berechnung von Städtischen Netzen unter Berücksichtigung dezentraler Einspeisung

DA 05/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Koch, Kristian

Untersuchung eines kombinierten Interconnectors mit Offshore Windpark und Netzanschluss am Beispiel der Kriegers Flak-Combined Grid Solution

DA 06/2011 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner)

Smarczewski, Kay

Erweiterung der Leittechnik des dynamischen Netzmodells auf Basis von IEC 61850 für Forschung und Lehre

DA 07/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert / Dipl.-Ing. J. Meyer)

Henke, Alois (Fak. Wirtschaftswissenschaften)

Technische und wirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit im Zusammenhang mit dem Ausbau von Smart-Grid

DA 09/2011 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dipl.-Ing. J. Meyer)

Werner, Jens

Konzeption eines flexiblen Versuchsstandes zur Beurteilung der statischen und dynamischen Parameter von KWK-Anlagen

DA 11/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Studienarbeiten

Koch, Kristian

Untersuchungen zur Ausbreitung von Harmonischen im Frequenzbereich 2 – 9 kHz in Niederspannungsnetzen

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

Schley, Willi

Untersuchung der Oberschwingungsstromaussendung moderner Haushaltsgeräte mit Bemessungsströmen kleiner 16 A

SA 12/2009 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Bräuer, Sven

Inbetriebnahme, Parametrierung und Prüfung von Schutzgeräten des dynamischen Netzmodells

SA 01/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Hergesell, Michael

Probabilistische Lastmodellierung von Haushaltskunden für die NS-Netzplanung

SA 03/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert)

Hähle, Stephan

Analyse der Netzzrückwirkungen von Ladegleichrichtern in Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung der Unsymmetrie

SA 06/2010 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Zierfuß, Thomas

Untersuchung zum Betrieb von Niederspannungsnetzen unter Beachtung von dezentralen Erzeugungsanlagen

SA 08/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Reincke, Stefanie

Aus- und Bewertung einer Umfrage zur Sternpunktbehandlung in deutschen Verteilungsnetzen

SA 05/2011 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner)

Forschung

Möller, Friedemann

Bewertung der Größe und Richtung von Kurzschlussströmen im Niederspannungsnetz mit dezentralen Erzeugungsanlagen (Smart Grids)

SA 06/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Ruben, Mathias

Selektivschutz in Niederspannungsnetzen mit dezentraler Einspeisung

SA 07/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. T. Heß)

Hacker, Sebastian

Messung der Modellparameter des Dynamischen Netzmodells (DNM) und Implementierung in ein Simulationsprogramm

SA 11/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Vorträge

Schulze, Roberto

Identification of Overhead Line Parameters and Fault Location Considering Line Unbalances

Gastvortrag im Rahmen der Doctoral School TU Graz, Graz/Österreich, 16.03.2011

Bauer, Hartmut

Schutz und Vorsorge gegen Felder von elektrischen Energieanlagen.

EMV 2011, Stuttgart, 17.03.2011, Workshop 35

Stiegler, Robert

Verifikation der Messgenauigkeit von Spannungsqualitätsmessgeräten nach IEC 61000-4-30

„12. Dresdener Kreis 2011“, Hannover, 28.-29.03.2011

Klatt, Matthias

Systematisierte Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Spannungswandlern

„12. Dresdener Kreis 2011“, Hannover, 28.-29.03.2011

Heß, Tobias

Comparison of Static and Dynamic Simulation for Micro-CHP Units.

PhD and Young Researcher Seminar "Distributed and Renewable Generation", University of Strathclyde, Glasgow (UK), 07.04.2011

Klatt, Matthias; Stiegler, Robert
Powerquality in Smartgrids.
Mitteldeutscher Innovationstag, Dresden, 14.04.2011

Heß, Tobias
KWK in Smart Grids.
Mitteldeutscher Innovationstag, Dresden, 14.04.2011

Bauer, Hartmut
Aspekte einer langfristigen Elektroenergieentwicklung.
Symposium „Regenerative Energiegewinnung“, Bautzen, 15.04.2011

Meyer, Jan; Schegner, Peter
Harmonic Summation Effects of Modern Lamp Technologies and Small
Electronic Household Equipment
CIRED 2011, Frankfurt/Main, 06.-09.06.2011

Dickert, Jörg
A Time Series Probabilistic Synthetic Load - Curve Model for Residential
Customers.
IEEE PowerTech, Trondheim/Norwegen, 19.-23.06.2011

Schulze, Roberto; Schegner, Peter
A New Fault Location Method for Transmission Lines Taking the Places of
Transposing Into Account
IEEE PES General Meeting 2011, Detroit/USA, 24.-28.07.2011

Schulze, Roberto; Schegner, Peter
An Application of Pseudo-Spectral Discretization in Modelling of Unsymme-
trical Transmission Lines
PSCC 2011, Stockholm/Schweden, 22.-26.08.2011

Heß, Tobias
Comparison of Static and Dynamic Simulation for Combined Heat and
Power Micro-Units.
PSCC 2011, Stockholm/Schweden, 22.-26.08.2011

Heß, Tobias
Stability Assessment of Isolated Micro-grids Powered by Distributed Com-
bined Heat and Power Micro-units.
IFAC World Congress, Mailand/Italien, 28.08.-02.09.2011

Forschung

Meyer, Jörg

Das intelligente Netz – Baustein im Energiesystem der Zukunft.

Bautzener Unternehmertage (BUT) - Marktplatz Energie, Bautzen,

17.09.2011

Schulze, Roberto

Analyse von Stördatenaufzeichnungen zur Unterstützung des Netzbetriebs

Industriepartner-Symposium, TU Dresden, Dresden, 06.10.2011

Heß, Tobias

Smart Energy Management in Micro Grids

Industriepartner-Symposium, TU Dresden, Dresden, 06.10.2011

Meyer, Jan; Stiegler Robert; Klatt, Matthias

Accuracy of Instrument Transformers for Voltage Harmonic Measurements

Omicron ITMF, Brand/Österreich, 06.10.2011

Henze, Christian

CT's for Measurements of Current Harmonics in MV Networks.

Omicron ITMF, Brand/Österreich, 06.10.2011

Schegner, Peter

Sternpunktbehandlung und Erdung in Kabelnetzen

78. Kabelseminar, Hannover, 11.10.2011

Meyer, Jan

Modelling of Electric Vehicle Chargers for Power System Analysis

EPQU-Conference, Lissabon/Portugal, 17.-19.10.2011

Meyer, Jan

Impact of electrical car charging on unbalance in public low voltage grids

EPQU-Conference, Lissabon/Portugal, 17.-19.10.2011

Meyer, Jan

1. Power Quality challenges in future distribution networks

2. Accuracy of Instrument Transformers for Voltage Harmonic Measurements

6th International Symposium on Power Quality SICEL, Asuncion,

02.-04.11.2011

Bauer, Hartmut

Isolationskoordination und Überspannungsschutz.

Fachveranstaltung „Hochspannungs-Schaltanlagen“, Berlin, 08.11.2011

Dickert, Jörg

Neue Ansätze der Modellierung synthetischer Lastgänge für Planung und Betrieb von Smart Grids.

ETG-Kongress, Würzburg, 08.-09.11.2011

Meyer, Jan

Power Quality Challenges in Future Distribution Networks

IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe 2011, Manchester, 05.-07.12.2011

Veröffentlichungen

Schulze, R.; Schegner, P., Živanović, R.:

Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines Using Fault Records Obtained from Protective Relays.

IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No. 2, 2011

Schegner, P.; Dieu, N.:

Pseudo-Gradient Based Particle Swarm Optimization for Nonconvex Economic Dispatch Problems.

IET Generation, Transmission & Distribution. 2011

Schegner, P.; Fickert, L.; Melzer, H.; Pietzsch, H.:

ETG-Umfrage Sternpunktbehandlung 2010.

ETG Mitgliederinformation. VDE-Verlag, 2011

Schegner, P.; Eberl, G.:

Overview of Methods for Earth Fault Distance Calculation. Methods and techniques for earth fault detection, indication and location.

Kaunas University of Technology and Aalto University, Espoo/Finland, 15.02.2011

Bauer, H.; Fischer, M.; Heinrich, H.:

Schutz und Vorsorge gegen Felder von elektrischen Energieanlagen – Grundlagen und Wirkungen – Verordnungen und Vorschriften – Messung und Berechnung.

EMV 2011, Stuttgart, 17.03.2011, Workshop 35

Stiegler, R.; Meyer, J.; Klatt, M.; Elst, M.; Sperling, E.:

Accuracy of harmonic voltage measurements in the frequency range up to 5 kHz using conventional instrument transformers.

CIRED 2011, Frankfurt am Main, 06.-09.06.2011

Forschung

Klatt, M.; Dorado, A.; Meyer, J.; Schegner, P.; Backes, J.; Li, R.:
Power Quality Aspects of Rural Grids with High Penetration of Microgeneration, Mainly PV-Installations.

CIREN 2011, Frankfurt am Main, 06.-09.06.2011

Meyer, J.; Schegner, P.; Heidenreich, K.:
Harmonic Summation Effects of Modern Lamp Technologies and Small Electronic Household Equipment

CIREN 2011, Frankfurt am Main, 06.-09.06.2011

Dickert, J.; Schegner, P.:
A Time Series Probabilistic Synthetic Load - Curve Model for Residential Customers.

IEEE PowerTech, Trondheim/Norwegen, 19.-23.06.2011

Schulze, R.; Schegner, P.:
A New Fault Location Method for Transmission Lines Taking the Places of Transposing Into Account.

IEEE PES General Meeting 2011, Detroit/USA, 24.-28.07.2011

Meyer, J.; Schegner, P.; Gordon Romero, J. M.:
Design Aspects for large PQ Monitoring Systems in future Smart Grids.

IEEE PES General Meeting 2011, Detroit/USA, 24.-28.07.2011

Schulze, R.; Schegner, P., Živanović, R.:
An Application of Pseudo-Spectral Discretization in Modeling of Unsymmetrical Transmission Lines.

17th PSCC 2011, Stockholm/Schweden, 22.-26.08.2011, Proceedings

Heß, T.; Seifert, J.; Schegner, P.:
Comparison of Static and Dynamic Simulation for Combined Heat and Power Micro-Units.

17th PSCC 2011, Stockholm/Schweden, 22.-26.08.2011, Proceedings

Heß, T.; Stachel, P.; Schegner, P.:
Stability Assessment of Isolated Micro-grids Powered by Distributed Combined Heat and Power Micro-units.

18th IFAC World Congress, Mailand/Italien, 28.08.-02.09.2011, Proceedings, pp. 495-500

Henze, C.; Reiß, M.; Schegner, P.:
CT's for Measurements of Current Harmonics in MV Networks.

Omicron ITMF, Brand/Österreich, 06.10.2011

Meyer, J.; Stiegler R.; Klatt, M.:
Accuracy of Instrument Transformers for Voltage Harmonic Measurements
Omicron ITMF, Brand/Österreich, 06.10.2011

Collin, A.; Djokic, S.; Thomas, H.; Meyer, J.:
Modelling of Electric Vehicle Chargers for Power System Analysis.
EPQU-Conference, Lissabon/Portugal, 17.-19.10.2011

Meyer, J.; Hähle, S.; Schegner, P.:
Impact of electrical car charging on unbalance in public low voltage grids.
EPQU-Conference, Lissabon/Portugal, 17.-19.10.2011

Schegner, P.; Meyer, J.; Domagk, M.; Eberl, G.; Darda, T.:
Identification of consumer topologies in Low Voltage Grids by Time Series
Analysis of Harmonic Currents.
EPQU-Conference, Lissabon/Portugal, 17.-19.10.2011

Klatt, M.; Meyer, J.; Schegner, P.:
Aspekte der Strom- und Spannungsqualität in künftigen Verteilungsnetzen.
ETG-Kongress 2011, Würzburg, 08.-09.11.2011

Dickert, J.; Schegner, P.:
Neue Ansätze der Modellierung synthetischer Lastgänge für Planung und
Betrieb von Smart Grids.
ETG-Kongress 2011, Würzburg, 08.-09.11.2011

Gunkel, D.; Heß, T.; Schegner, P.:
Optimale Einsatzplanung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Mic-
rogrids.
ETG-Kongress 2011, Würzburg, 08.-09.11.2011
ETG-Fachbericht, VDE VERLAG GmbH, 2011, pp. 1-8, ISBN 9783800733767

Bauer, H.:
Isolationskoordination und Überspannungsschutz.
Fachveranstaltung „Hochspannungs-Schaltanlagen“, Berlin, 08.11.2011,
Tagungsband

Meyer, J.; Klatt, M.; Schegner, P.:
Power Quality Challenges in Future Distribution Networks.
IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe 2011, Manchester,
05.-07.12.2011

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

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



Robert Adam, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zur Stromverdrängung in Sammel-schienensystemen von Niederspannungs-Schaltgeräte-kombinationen (NS-SK)

Zur rechnergestützten thermischen Dimensionierung von NS-SK müssen die in den Geräten und in den Betriebsmitteln erzeugten Verlustleistungen bekannt sein. Die Hauptsammelschienen der Anlagen sind wesentliche Wärmequellen. Die dort erzeugte Verlustleistung $P_{3\sim}$ wird aus dem Produkt des elektrischen Gleichstromwiderstandes $R_=(\vartheta)$, abhängig von der Temperatur des Leiters, dem Quadrat des Stromes I^2 und dem Leistungsfaktor k der Stromverdrängung berechnet.

$$P_{3\sim} = k R_=(\vartheta) I^2 \quad (1)$$

Der Leistungsfaktor k berücksichtigt dabei die durch den Skin- und überlagerten Proximity-Effekt hervorgerufene nicht homogene Stromdichteverteilung in den Leitern. Er gibt an, wie sich die in einem Leiter erzeugte Verlustleistung $P_{3\sim}$ bei Belastung mit Wechsel- oder Drehstrom zu der Verlustleistung $P_ =$ bei Belastung mit Gleichstrom verändert.

$$k = \frac{P_{3\sim}}{P_ =} \quad (2)$$

Für Drehstrom-Sammel-schienensysteme mit mehreren Teilleitern, wie sie in der Niederspannungstechnik häufig verwendet werden, existieren bisher nur sehr wenige Angaben zum Leistungsfaktor durch den Skin- und den Proximity-Effekt (Bild 1). Deshalb wurden für typische Anordnungen die Leistungsfaktoren k jedes Teilleiters mit Hilfe von FEM-Modellen berechnet. Um die mit den FEM-Modellen berechneten Leistungsfaktoren durch Messungen verifizieren zu

können, wurde eine Versuchsanordnung entwickelt und aufgebaut (Bild 2). Der Versuch bestand aus einer 4 m langen 4 x (60 x 10) mm² Sammel-

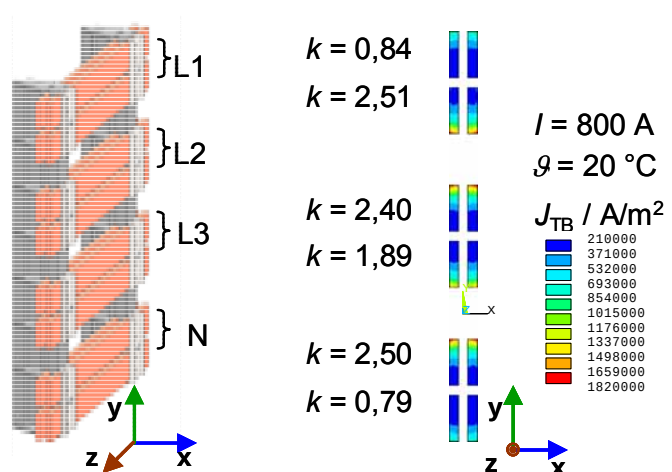


Bild 1: Stromdichteverteilung und Leistungsfaktor k der Stromverdrängung einer 4 (60 x 10) mm² Sammelschiene aus Kupfer (Darstellung ohne Neutralleiter)

schiene ohne Neutraleiter mit variabel einstellbaren Abgriffen zur Spannungsmessung.

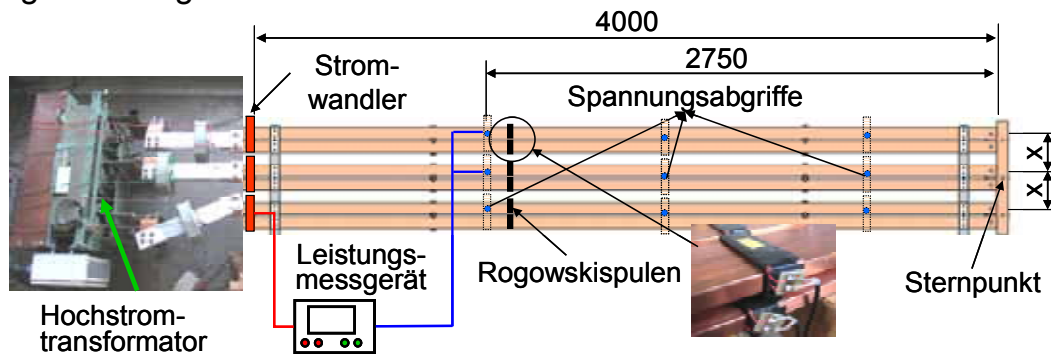


Bild 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Messung der Stromverdrängung

Mit einem Leistungsmessgerät wurden die Wirkleistungen als Summenleistung der Versuchsanordnungen durch zwei Varianten der Aronschaltung gemessen. Um jeden Teilleiter wurden Rogowskispulen in der Form der rechteckigen Stromschienenprofile montiert, um die Ströme der einzelnen Teilleiter zu messen. Zum Vergleich wurden die Summenleistung und die in den Teilleitern fließenden Ströme mit dem FEM-Modell der $4 \times (60 \times 10) \text{ mm}^2$ Sammelschiene berechnet.

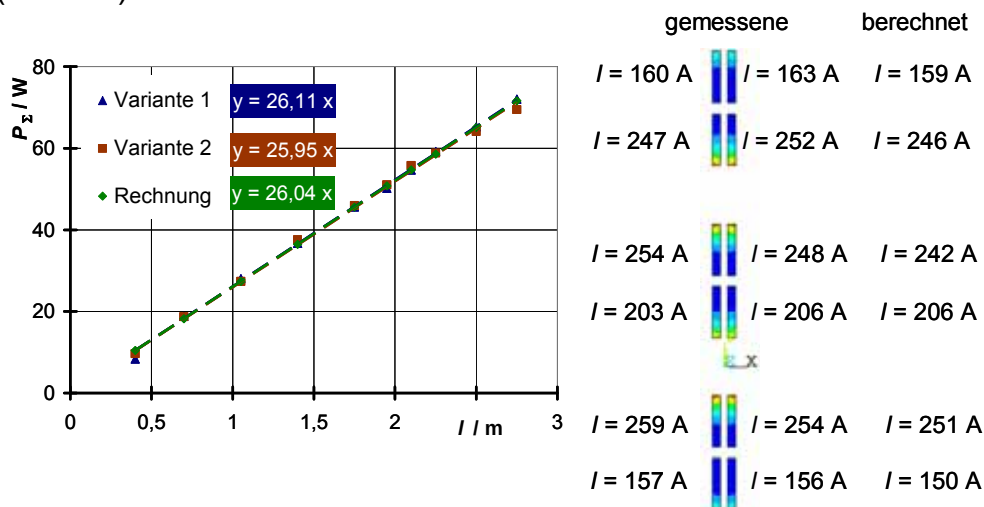


Bild 3: Wirkleistung als Summenleistung und Ströme der Teilleiter, gemessen und berechnet an einer $4 \times (60 \times 10) \text{ mm}^2$ Sammelschiene bei Belastung mit symmetrischem Drehstrom von $I = 800 \text{ A}$

Die gemessenen und die berechneten Wirkleistungen sowie die in den Teilleitern fließenden Ströme zeigen sehr gute Übereinstimmungen. Damit könnte die durch den Skin- und überlagerten Proximity-Effekt verursachte nicht homogene Stromdichteverteilung sowie die veränderte Verlustleistung nachgewiesen und somit die berechneten Leistungsfaktoren k der Stromverdrängung verifiziert werden.



Karsten Backhaus, Dipl.-Ing.

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

Die typische Isolierung eines Leistungstransformators besteht aus Isolieröl und Feststoffisolierung auf Zellulosebasis (Bild 1). Die Barrierenkonstruktion

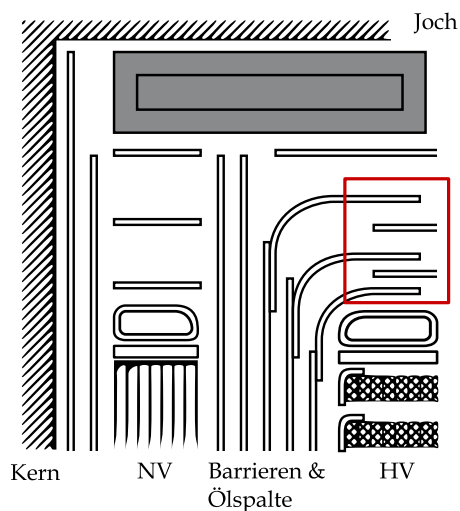


Bild 1: Prinzipaufbau des Barriersystems eines Leistungstransformators [1]

für Wechselspannung wird in modifizierter Form auch in Transformatoren für die Gleichstromübertragung (HGÜ) angewendet. Bei deren Prüfung wird eine hohe Gleichspannung angelegt. Diese ruft ein elektrisches Feld in der Isolierung hervor, das sich von dem bei Wechselspannung deutlich unterscheidet. Ursache hierfür sind die großen Leitfähigkeitsunterschiede von Isolieröl und Papier. In den Überlappungen der Barrieren (roter Kasten, Bild 1) ergibt sich damit eine Feldbeanspruchung längs der Grenzflächen (Bild 2), die als besonders kritisch erachtet wird.

Zur Bewertung einer möglichen reduzierten Festigkeit wurde eine Doppelkugel-Platten-Anordnung untersucht, bei der eine dünne Isolierstoffprobe längs zur Feldrichtung eingebracht wurde (Bild 3 und Bild 4). Der Aufbau ermöglicht die mehrmalige Prüfung eines konditionierten Feststoffprüflings auf Grenzsichtversagen durch das Verschieben der Doppelkugelelektrode entlang der Feststoffprobe.

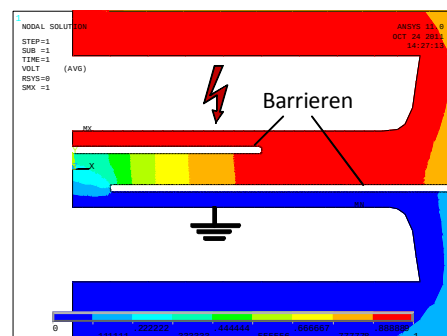


Bild 2: Potentialverteilung bei hoher Gleichspannung im Isolieröl innerhalb einer Barrierenüberlappung zwischen Rogowski-Profil

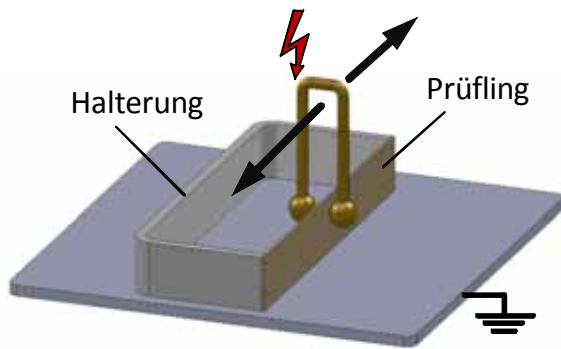


Bild 3: Prüfaufbau mit Doppelkugel, Prüf-ling, geerdeter Platte und Halterung

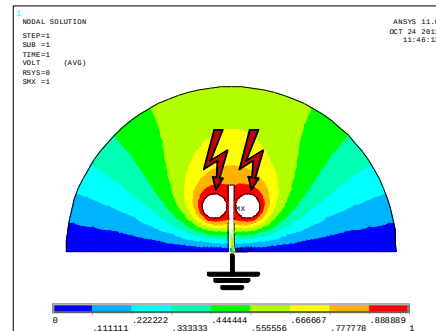


Bild 4: Potentialverteilung im Isolieröl in einer Doppelkugel-Platte-Anordnung mit längs beanspruchtem Isolierstoff

Als Referenzversuch wurde zunächst das Verhalten der Doppelkugelelektrode ohne Barriere gegenüber der geerdeten Platte untersucht. In Bild 5 ist zu erkennen, dass bereits ab einer geringen Schlagweite der Gradient der U_d -s-Kennlinie auf 1 kV/mm abflacht. Ursache dafür sind Ionen-schichten, welche sich bei Gleichspannung stabil vor den Elektroden ausbilden und einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit der Isolierstrecke haben [2].

Es wurden Versuche mit Feststoffproben aus Transformatorboard (Typ A und B), Kunstharzpressholz, Glas und Kunststoff durchgeführt. Die ermittelten Durchschlagsspannungen stimmen mit denen der reinen Ölstrecke gut überein.

Anhand der gewonnenen Ergebnisse wird daher geschlossen, dass Längsgrenzflächen für den untersuchten Spannungsbereich keinen festigkeitsmindernden Einfluss aufweisen. Das Durchschlagverhalten ist hauptsächlich durch die Eigenschaften des Isolieröls selbst bestimmt.

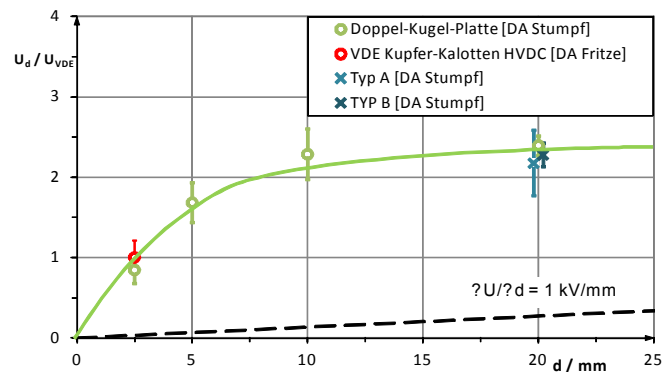


Bild 5: U_d -s-Kennlinie und Durchschlagsspannungen

Ziel weiterer Untersuchungen ist deshalb die Charakterisierung der sich bildenden Raumladungsschichten, um deren Einfluss auf das dielektrische Verhalten der Öl-Papier-Isolierung unter hoher Gleichspannung besser abschätzen zu können.

[1] KÜCHLER: Hochspannungstechnik, 2. Aufl., S. 447, Springer-Verlag, 2005

[2] BACKHAUS et al.: Dielectric Strength and Conductivity Behavior of Oil-Paper-Insulation, ISH, 2011



Maher Bakka, M.Sc.

Natur- und landschaftsverträgliche Planung und Gestaltung von Hochspannungs-Freileitungen

Der notwendige Umbau des Energieversorgungssystems in Deutschland und in Europa erfordert auch den Ausbau von Hochspannungs-Freileitungen zum Ferntransport elektrischer Energie. Dabei geraten die bisher bewährten Bauweisen von Freileitungen immer stärker in Konflikt mit anspruchs- und verantwortungsvollen Aspekten der Landschaftsgestaltung und des Natur- und Umweltschutzes. Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz führt wiederholt zum Verzögern oder gar Verhindern dringend erforderlicher Freileitungsneubau- oder -ausbauprojekte. Ein Mangel an konstruktivem Dialog und der Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit den tatsächlich existierenden Interessenkonflikten über viele Jahre sind dafür Ursache. In enger Zusammenarbeit mit der Professur Landschaftsplanung, Frau Prof. Catrin Schmidt und ihren Mitarbeiterinnen am Institut für Landschaftsarchitektur der TU Dresden, wurden in einem ersten Schritt gemeinsam die relevanten Fragestellungen und Konfliktpotenziale herausgearbeitet.

Dazu gehören:

- Rechtliche Aspekte und Genehmigungsverfahren
- Ökologische Aspekte (Boden und Wasser, Arten, Lebensräume)
- Landschaftsgestalt und Kulturlandschaft
- Landschaftswahrnehmung und Akzeptanz



Bild 1: 550-kV-Hochspannungs-Freileitung am Kraftwerk in Itajpu/Brasilien (links) und „esthetic towers“ in Helsinki (rechts)

Fotos: S. Großmann

Dabei wurden unterschiedlichste Mastbilder, wie sie in Deutschland üblich sind, aber auch Hochspannungs-Freileitungen in anderen Ländern betrachtet (Bild 1). Zu einer ersten Strukturierung der unterschiedlichsten Aspekte und Betrachtungsweisen dient ein Schema, welches die elektrischen und umgebungsbedingten Belastungen und Beanspruchungen einer Freileitung unter Beachtung der Anforderungen und Effekte analysiert (Bild 2).

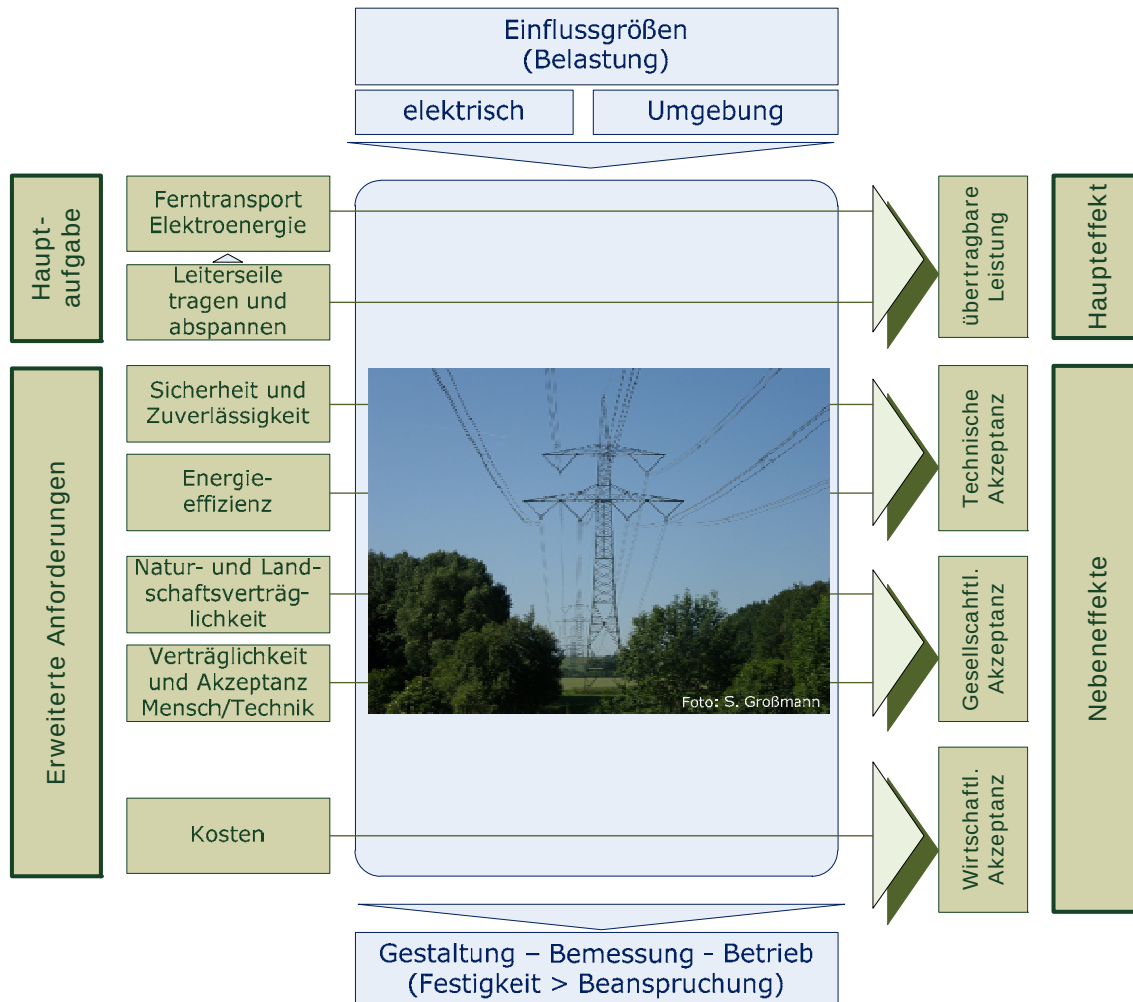


Bild 2: Übersicht über komplexe Zusammenhänge zwischen technischen Anforderungen, elektrischen und umgebungsbedingten Einflussgrößen und der zu übertragenden Leistung (Haupteffekt) und verschiedenen Nebeneffekten (Schema stark vereinfacht)



Sebastian Dreier, Dipl.-Wi.-Ing.

Untersuchungen von Verbindungen der elektrischen Energietechnik unter Extrembedingungen

Verbindungen der elektrischen Energietechnik sind in großer Zahl in elektrischen Versorgungsnetzen und Betriebsmitteln anzutreffen. Aufgrund der großen Stückzahl und des oftmals exponierten Einsatzbereichs in elektrischen Energieinfrastrukturen muss ein zuverlässiges Funktionieren der Verbindungen gewährleistet sein. Der großflächige Einsatz elektrischer Erzeugungs-, Verteilungs- und Übertragungsanlagen in Wüsten oder tropisch feuchten Regionen ist für die Zukunft geplant. Gleichzeitig kommt es vermehrt zur Entwicklung und zukünftig zum Einsatz supraleitender Betriebsmittel.

Unter Extrembedingungen werden technische und klimatische Einsatzbedingungen verstanden. Durch Auswahl geeigneter Parameter können diese beschrieben werden. Die für die Forschungsarbeit interessierenden Extrembedingungen treten in Gebieten mit extremen Umweltbedingungen und in technischen Anwendungen, die unter Extrembedingungen arbeiten, auf. Durch Charakterisieren von Umwelteinflüssen und Umwelteinflussgrößen lassen sich fünf grundsätzliche Extrembedingungen identifizieren:

Tabelle 1: Resulting Extreme Conditions

Bezeichnung	ϑ	$\Delta\vartheta$	RH	Reaktionsbeschleunigende Gaskomponenten
Wüste	↑↑	↑↑	↓	→
Tropischer Regenwald	↑	→	↑↑	↑
Meeresatmosphäre	→	→	↑↑	↑↑
Tiefe Temperaturen	↓↓	→	↑↑	→
Industrieatmosphäre	→	→	→	↑↑

Legende: ↑↑ → very high ↑ → high
 → → moderate ↓ → low

Bei Industrieatmosphäre ist die Umgebungsluft mit einem hohen Schadgasanteil belastet. Extreme Kälte tritt bei der technischen Anwendung der Supraleitung in einem Kryostat auf. Die Temperaturbereiche der derzeit be-

kannten supraleitenden Materialien werden in natürlicher Freiluftumgebung auf der Erdoberfläche nicht erreicht.

Diese Einsatzbedingungen treten an unterschiedlichen Punkten auf der Erde natürlich auf oder ergeben sich aus einer technischen Anwendung. Klimatische Umweltbedingungen können mithilfe von Klimaklassifikationen genauer bestimmt werden. Die effektive Klimaklassifikation nach Köppen-Geiger berücksichtigt neben der Temperatur auch Niederschläge, die wiederum von einer Vielzahl lokaler und globaler Faktoren abhängig sind.



Bild 1: Bearbeiteter Auszug aus der Weltkarte der Klimaklassifikation nach Köppen-Geiger [1]; WÜ-Wüste, TR-Tropischer Regenwald

Zum Verständnis des Verhaltens der Verbindungen ist die Kenntnis über die tatsächlich ablaufenden Alterungsprozesse notwendig. Es wird ein systematischer Ansatz zur Lösung des Problems gewählt. Neben unterschiedlichen Geometrien werden ausgehend vom Grundmaterial einer elektrischen Verbindung ausgewählte Beschichtungen untersucht und ihr Langzeitverhalten analysiert. Die für die Auswertung notwendige Datenbasis wird durch Feld- und Laborversuche geschaffen. Verschiedene Muster von Verbindungen werden mit den jeweiligen Extrembedingungen beansprucht. Dazu zählen Freileitungsklemmen, Pressverbindungen, Stromschienen sowie Steckverbinder.

[1] KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK C.; et al.; 2006: World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift. 15 (3) S. 259-263.



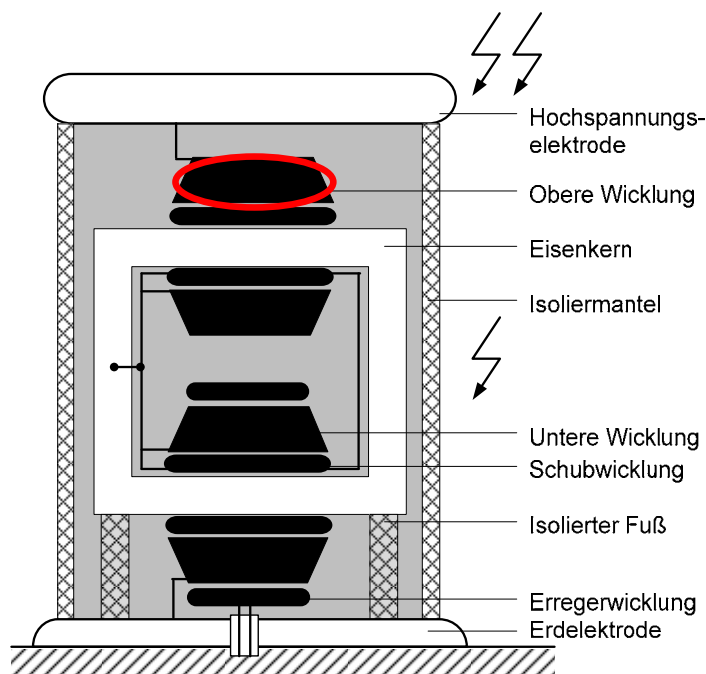
Melanie Conrad, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zur Erwärmung von horizontalen Ölkühlkanälen in Hochspannungsprüftransformatoren

Torsten Fuhrmann, Dipl.-Ing.



In Hochspannungsprüftransformatoren (Bild 1) und -drosseln stellen die stromdurchflossenen Lagenwicklungen das thermisch empfindlichste Bauteil dar. Diese Wicklungen werden aus isolationstechnischer Sicht unter anderem waagrecht bzw. leicht geneigt auf dem Eisenkern angeordnet.



Zwischen einzelnen Lagen einer gesamten Wicklung (Bsp.: Obere Wicklung) können sich Kühlkanalleisten befinden (Bild 2), die radial über dem Umfang verteilt sind. Es sind je nach Notwendigkeit mehrere Ölkühlkanäle vorhanden. Für die elektrische Isolation und mechanische Abstützung der Drahtwindungen einer einzelnen Wicklungslage auf den Kühlkanalleisten werden geschichtete Isolierpapierlagen verwendet.

Bild 1: Hochspannungsprüftransformator in Isoliermantelbauweise mit Eisenkern auf halbem Hochspannungspotential

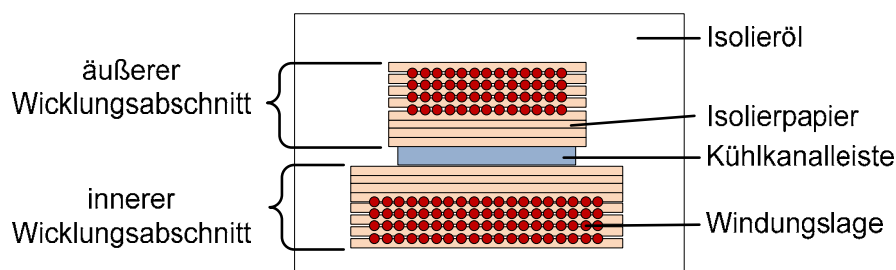


Bild 2: Querschnitt zweier Wicklungslagen als Bestandteil einer Gesamtwicklung (Bsp.: rote Markierung – Bild 1)

In den Kühlkanälen strömt das innere Isoliermedium (Isolieröl) des ONAN-betriebenen Prüftransformators. Der Wärmetransport, ausgehend von den erwärmten stromdurchflossenen Windungen an den kühlenden Ölstrom, findet durch Konvektion statt. Durch Ähnlichkeitsfunktionen, in denen die dimensionslose Ähnlichkeitsgröße Nusselt-Zahl ein Maß für die Güte des Wärmeübergangs darstellt, kann dieser konvektive Wärmeübergang beschrieben werden.

Mit einem verbesserten Modell einer Wicklungsnachbildung wird ein Teil der Spule eines Hochspannungsprüftransformators nachempfunden. Es wurde insbesondere die Beeinflussung der Wärmeabgabe, von den Wicklungen zum kühlenden Isolieröl, in Abhängigkeit der Dicke der Papierisolierung und des Neigungswinkels des Kühlkanals untersucht.

Mit dem neuen Versuchsmodell, das auf einer präziseren Messanordnung beruht, konnte der Einfluss des Neigungswinkels auf das Konvektionsverhalten im Vergleich zu den ersten Untersuchungen bestätigt werden. Mit zunehmendem Neigungswinkel wird durch die Erhöhung der treibenden Druckdifferenz zwischen Öleintritt und Ölaustritt eine Verbesserung des Wärmeübergangs erreicht (Bild 3). Je größer die Anzahl an Isolierpapierlagen zwischen den stromdurchflossenen Wicklungen und den Kühlkanälen ist, desto geringer ist die durch Konvektion an das Isolieröl abgegebene Wärmeleistung.

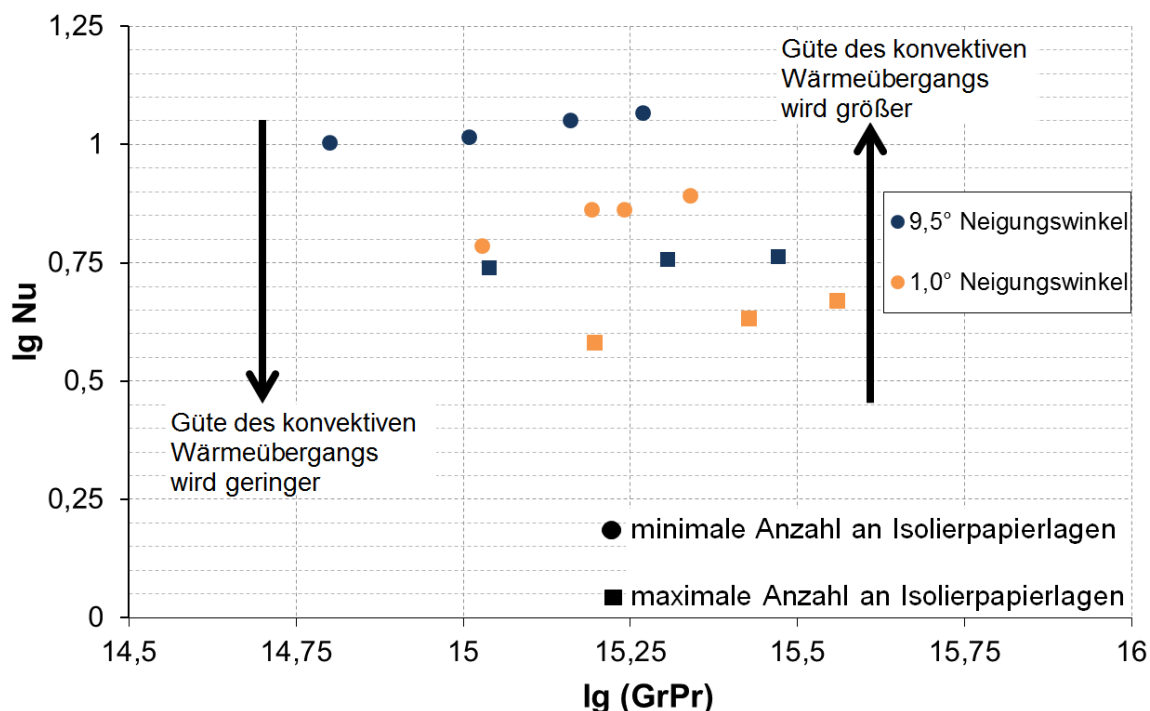


Bild 3: Nusseltzahlen bestimmt für einen Modellkanal bei verschiedenen Neigungswinkeln, Anzahl an Isolierpapierlagen und Grashof-Prandtl-Werten



Christian Hildmann, Dipl.-Ing.

Thermische Beanspruchung von Ein-Punkt-Kontakten durch eine Belastung mit Impulsstrom

Über die Ableitungen einer äußeren Blitzschutzanlage fließen Impulsströme mit Amplituden größer als 100 kA [1]. Die im Strompfad eingesetzten elektrischen Verbindungen werden durch den Impulsstrom sehr hoch belastet. Für diese Verbindungen wird gefordert, dass deren Strombahn nicht unterbrochen werden darf. Im Rahmen dieses Kriteriums wird überprüft, ob die durch den Impulsstrom hervorgerufene thermische Beanspruchung der Mikrokontakte zu einer Unterbrechung führen kann. Zur transienten Temperaturberechnung eines Ein-Punkt-Kontakts wird deshalb ein thermisches Abbild erstellt, das den Mikrokontakt in diskrete Kugelschalen unterteilt (Bild 1). Grundlage ist das Kugelmodell von *HOLM*.

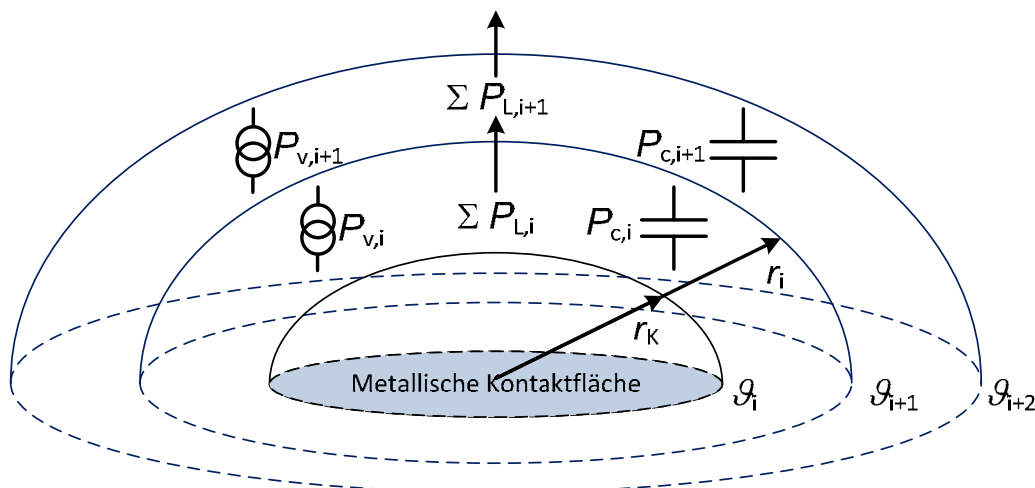


Bild 1: Thermisches Modell des Ein-Punkt-Kontakts bei Belastung mit Impulsstrom

Zunächst wird die in einer Kugelschale erzeugte Verlustleistung

$$P_{v,i} = k(r, r_K) I(t)^2 R_{E,i}(\vartheta) \quad (1)$$

als Wärmeleistung

$$P_C = c_p(\vartheta) \delta \frac{4}{3} \pi (r_{i+1}^3 - r_i^3) \frac{\partial \vartheta}{\partial t} \quad (2)$$

in der Wärmekapazität der Kugelschale gespeichert und der Mikrokontakt erwärmt sich. Dabei hängt die spezifische Wärmekapazität c_p sehr stark von der Temperatur ab [2]. Sobald Temperaturunterschiede zwischen benach-

barten Kugelschalen existieren, setzt die Wärmeleitung ein, so dass die Wärmeleistung

$$P_{L,i} = -\lambda A \frac{\partial \vartheta}{\partial r} = \frac{\Delta \vartheta}{R_{L,i}} = \lambda \pi (r_i - r_K) \Delta \vartheta \quad (3)$$

aus dem Mikrokontakt abgeführt wird. Es wird festgelegt, dass die Strombahn unterbrochen ist, wenn an der innersten Kugelschale des Modells die

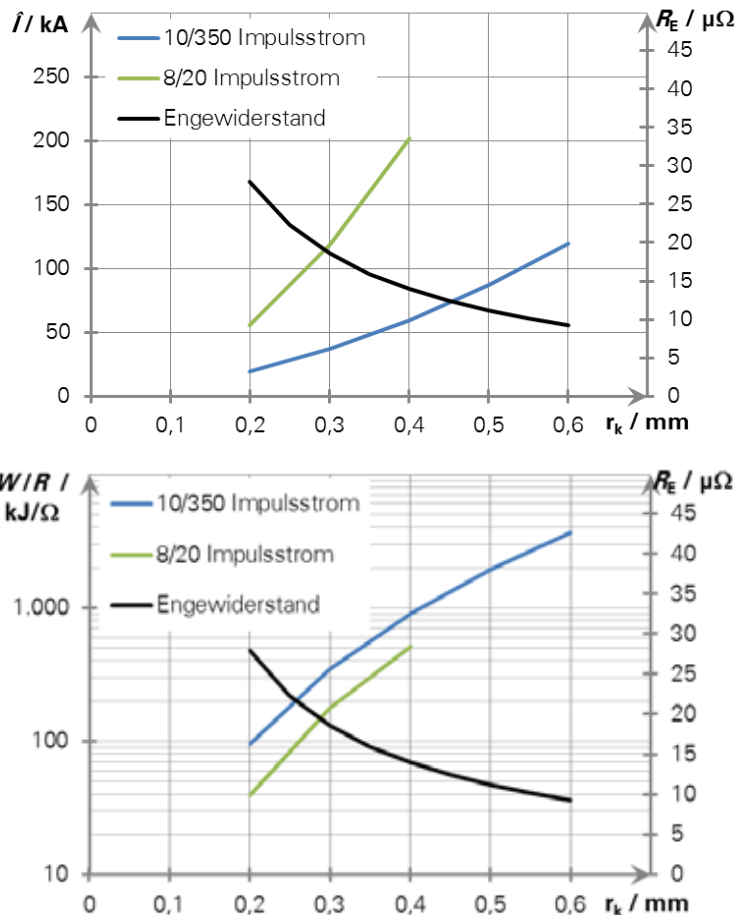


Bild 2: Zum Aufschmelzen eines Mikrokontakts aus Kupfer notwendige Impulsstromamplitude und spez. Impulsenergie abhängig von der Belastungsart

Energie zum Schmelzen des Kontakts ausreicht (Bild 2). Entsprechend wird bei den längeren Impulsen des Typs 10/350 eine größere Wärmemenge aus dem Mikrokontakt abgeführt.

Schmelztemperatur ϑ_s und die Schmelzwärme q_s aufgebracht werden. Für einen Ein-Punkt-Kontakt aus Kupfer werden, abhängig vom Radius des Mikrokontakts r_K , diejenigen Amplituden und Energien des Impulsstroms berechnet, die zum Schmelzen der Kontaktstelle führen. Wird ein solcher Mikrokontakt mit Impulsströmen des Typs 8/20 belastet, sind sehr hohe Amplituden des Impulses notwendig, um die Strombahn zu unterbrechen. Ein Vergleich der beiden Impulsformen zeigt, dass für Impulse des Typs 8/20 eine geringere spezifische

[1] Hasse, P.; Wiesinger, J.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. 3. Aufl., Pflaum Verlag München, VDE-Verlag Berlin, Offenbach.

[2] VDI-Wärmeatlas. 10. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer, 2006.



Benjamin Kaufmann, Dipl.-Ing.

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

Für die thermische Berechnung von Komponenten gasisolierter Schaltanlagen (GIS) ist die Wärmenetzmethode etabliert. Der konvektive Wärmeübergang hat große Bedeutung für die Erwärmung und wird anhand der Gleichung

$$Nu = c_1 Ra^{n_1} \quad (1)$$

bestimmt. [Böh05] Der Parameter c_1 beschreibt die Abhängigkeit des konvektiven Wärmeübergangs von der Geometrie der Oberflächen. Mit rechnergestützten Strömungsberechnungen (CFD) können die Parameter c_1 aller Oberflächen bestimmt werden, ohne dass Experimente erforderlich sind.

Ein Strömungsmodell wird in drei Arbeitsschritten erstellt:

- Geometrie erstellen
- Rechengitter auf Grundlage der Geometrie erzeugen
- Modell-Setup: Definition von Rand- und Anfangsbedingungen, physikalischen Einstellungen und Ergebnisgrößen [Ans10]

Die Geometrie lässt sich durch Vereinfachung und Aufarbeitung der während der Entwicklungsphase vorhandenen CAD-Modelle erstellen. Hierbei werden Konturen geglättet, die für die Vernetzung zu fein sind und unwesentliche Details unterdrückt. Die Rechengitter lassen sich im Anschluss mit Vernetzungsprogrammen erzeugen, wobei vom Benutzer relativ wenige Eingaben erforderlich werden. Im Zuge des Modell-Setup muss eine Vielzahl an Einstellungen zu Wechselwirkungen einzelner Abschnitte des Modells, zu Rand- und Anfangsbedingungen und physikalischen Modellen vorgenommen werden. Diese Einstellungen erfordern vom Benutzer gewöhnlich ein hohes Maß an Expertise und bringen bei komplexen Modellen zusätzlich einen erheblichen Aufwand mit sich. Bei der Berechnung der Konvektion in Komponenten von GIS lässt sich das Modell-Setup automatisieren. Zu diesem Zweck wurde ein Programm entwickelt, dass das Strömungsmodell konfiguriert und damit den Aufwand für den Benutzer entscheidend reduziert. Die Vorteile der thermischen Berechnung in CFD können mit vergleichsweise geringem Aufwand und ohne die sonst erforderliche Expertise für Strömungsberechnungen genutzt werden.

Der bei einer CFD-Berechnung praktisch realisierbare Modellumfang ist u. a. durch die Rechenzeit begrenzt. Es können mit CFD zwar einzelne Komponenten thermisch berechnet werden, jedoch nicht mehrere sich thermisch beeinflussende Komponenten einer GIS. Hierfür ist weiterhin das Wärmenetz erforderlich.

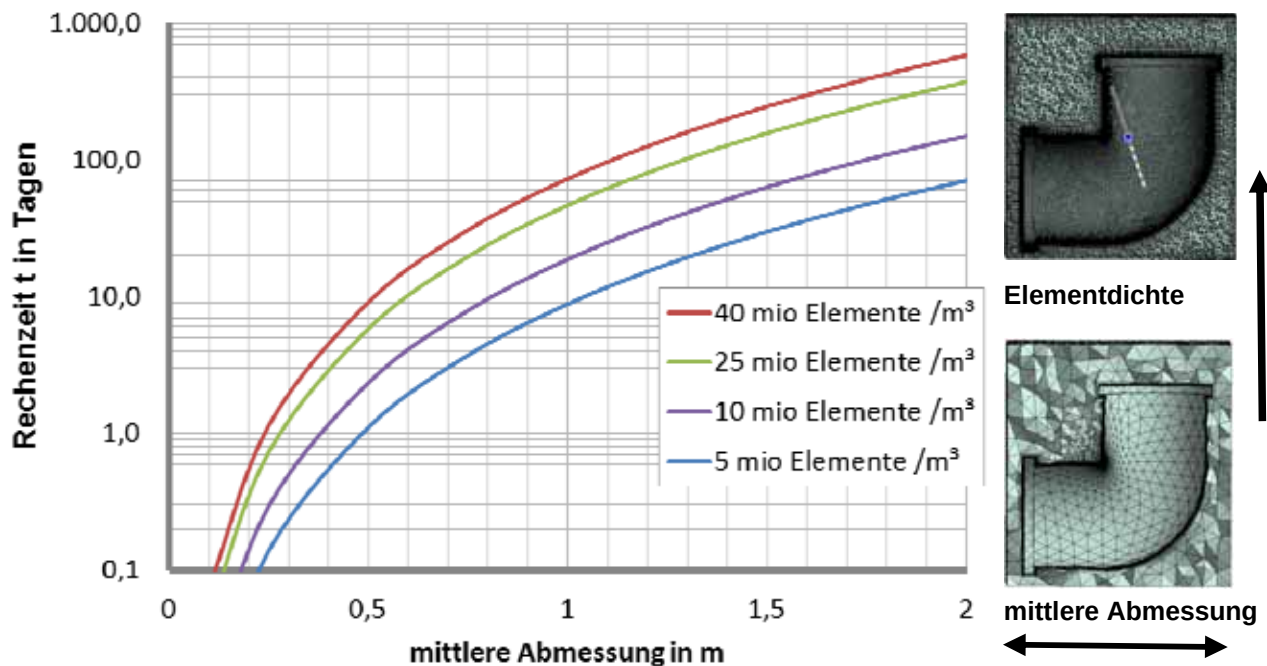


Bild 1: Rechenzeit bis zum Erreichen einer konvergierten Lösung; die für die Rechenzeit massgebliche Elementanzahl entspricht dem Produkt aus Modellvolumen und Elementdichte

Die Ähnlichkeitsfunktionen dienen als Schnittstelle zwischen CFD und der Wärmenetzmethode und erlauben es, die Ergebnisse aus einer CFD-Berechnung für einzelne Komponenten in das Wärmenetz einer GIS zu integrieren.

[Ans10] ANSYS Help, Release 13.0, 2010

[Böh05] Böhme, Helmut: Mittelspannungstechnik, Schaltanlagen berechnen und entwerfen, 2. stark bearbeitete Auflage, Berlin: Verlag Technik, 2005



Nils Lücke, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zum Gleitverschleiß bei verzinnnten Photovoltaik-Steckverbindern

Steckverbinder, die im Bereich der Photovoltaik (PV) eingesetzt werden sollen, müssen verschiedenen Prüfverfahren nach DIN EN 50421:2008 standhalten. Unter anderem sind im Rahmen der mechanischen Lebensdauerprüfung betriebsmäßige Steckvorgänge ohne elektrische Belastung nachzubilden. Dabei muss nach DIN EN 50421:2008 die Geschwindigkeit des Steckens und Trennens 0,01 m/s betragen und im getrennten Zustand eine Ruhepause von 30 s eingehalten werden. Nach diesem Verfahrensablauf ist durch eine Sichtprüfung festzustellen, ob funktionsbeeinträchtigende Beschädigungen erkennbar sind. Ein Kriterium hinsichtlich des elektrischen Verbindungswiderstands ist für die Prüfung der betriebsmäßigen Steckvorgänge nicht vorgesehen. Dies ist aber aus Anwendersicht eine interessante Größe, da von den Verbindungswiderständen im PV-System die Verluste in der Anlage und damit die erreichbaren Einspeiseleistungen abhängen.

Für die Untersuchungen zum Gleitverschleiß bei betriebsmäßigen Steckvorgängen wurden verzinnnte PV-Steckverbinder mit einem Nenndurchmesser von 4 mm verwendet. Als Randbedingungen in Bezug auf das Behandeln der Kontaktflächen mit Schmierstoffen sind die drei Varianten "Fett A" (FA), "Fett B" (FB) und "Entfettet" (EF) gewählt worden. Zum Messen der Verbindungswiderstände nach jeweils 10 Steckzyklen wurden entsprechende Potentialabgriffe im Bereich zwischen Crimpanschluss der Zuleitungen und Steckkontakt befestigt (Bild 1b). Zum Nachbilden der betriebsmäßigen Steckvorgänge wurde eine Versuchsanordnung mit einem Tauchspulenmotorantrieb verwendet, der für Untersuchungen zum Gleitverschleiß bei versilberten Rundsteckverbindern entwickelt wurde (Bild 1a), [1].

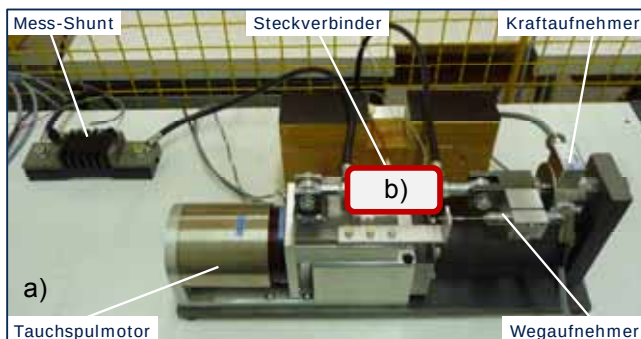


Bild 1: Versuchsanordnung (a) und PV-Steckverbinder mit Potentialabgriffen (b)

Die gemessenen Verbindungswiderstände der nur bei Raumtemperatur ausgelagerten und mit den Steckvorgängen belasteten Verbinder unterscheiden sich zwischen den drei ausgewählten Kontaktflächenbehandlungen nicht signifikant (Bild 2a). Unterschiede im Verschleißbild der Kontaktflächen wirken sich während der Belastung mit 200 Steckzyklen nicht auf den Verbindungswiderstand aus. Werden die PV-Steckverbinder jedoch erst im Anschluss einer 2-wöchigen Auslagerung im Wärmeschränk bei einer Temperatur von 90 °C durch Steckvorgänge belastet, so zeigt sich bereits ein deutlicher Einfluss der unterschiedlichen Kontaktflächenbehandlungen (Bild 2b). Beim EF als auch beim FA ist ein deutlich ansteigender Verbindungswiderstand oberhalb der in DIN EN 50421:2008 geforderten 50 Steckzyklen festzustellen. Hingegen zeigt sich beim FB kein Unterschied zur Steckbelastung ohne vorherige Auslagerung im Wärmeschränk (vgl. Bild 2a).

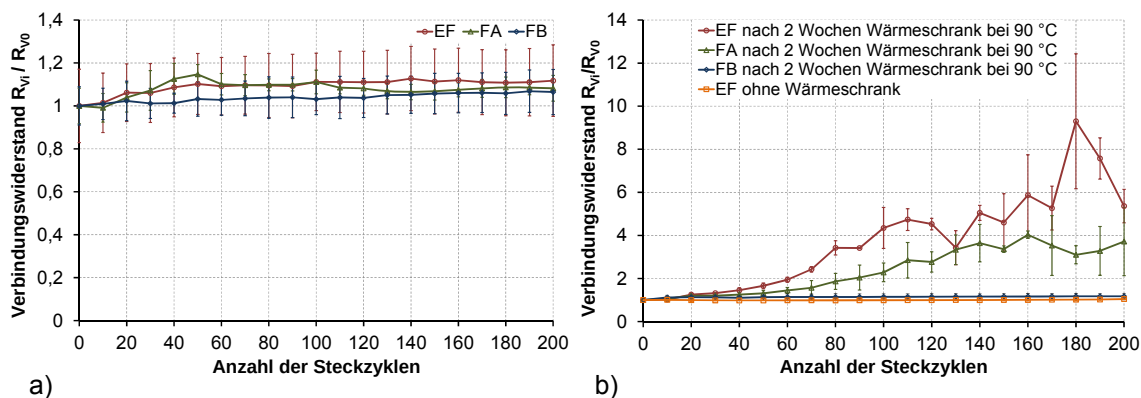


Bild 2: a) Verbindungswiderstände abhängig von der Anzahl der Steckzyklen
b) Einfluss einer 2-wöchigen Lagerung im Wärmeschränk bei 90 °C auf den Verbindungswiderstand abhängig der Anzahl der Steckzyklen

Die Ursache für die während der Steckbelastungen praktisch unveränderten Verbindungswiderstände beim FB ist in einem von den anderen beiden Randbedingungen (bzgl. Schmierung) abweichenden Verschleißmechanismus zu suchen. Das Material an der Oberfläche der Reibspur wird lediglich zu den Seiten aus dieser Spur herausgedrückt, während bei FA und EF der Oberflächenverschleiß vor allem durch Abrasion bestimmt und deutlich stärker ausgeprägt ist. Die Kontaktbereiche wurden sowohl im Lichtmikroskop als auch im REM untersucht. Zudem konnte bei EDX-Messungen festgestellt werden, dass die sich bei der Materialpaarung Kupfer-Zinn schon bei Raumtemperatur ausbildende intermetallische η' -Phase je nach Beschichtungstechnologie und Auslagerungstemperatur das Verschleißverhalten sowohl positiv als auch negativ beeinflussen kann.

[1] Lücke, N.: Untersuchungen zum Gleitverschleiß an elektrischen Rundsteckverbindungen mit Kontaktlamellen. Jahresbericht IEEH 2010



Hans-Peter Pampel, Dipl.-Ing.

Untersuchungen an isolierenden Seilen für das Arbeiten unter Spannung

Für das ‚Arbeiten unter Spannung‘ (AuS) sind Seile aus Polypropylen, Polyester, Polyamid und Polyethylen unverzichtbare Arbeitsmittel. Seile werden nicht speziell für das AuS entwickelt und gefertigt. Aus dem breiten Angebot der Seilhersteller erfolgt deshalb die Auswahl und Qualifikation eines Seiles für das AuS entsprechend DIN EN 62192: Februar 2010: ‚Arbeiten unter Spannung – Isolierende Seile‘.

Ausreichende dielektrische Eigenschaften eines Seiles werden nach oben genanntem Standard an trockenen und wassergelagerten Seilstücken nachgewiesen. Kriterien für eine erfolgreiche Prüfung sind die Spannungsfestigkeit, der Ableitstrom (trocken: $I_{a \max} = 100 \mu A$; nass: $I_{a \max} = 500 \mu A$, $I_{a 5min} = 250 \mu A$), keine Erwärmung, keine erkennbare Schädigung und keine Verringerung der Zugfestigkeit.

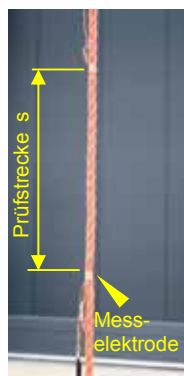


Bild 1: Prüfanordnung Drahring

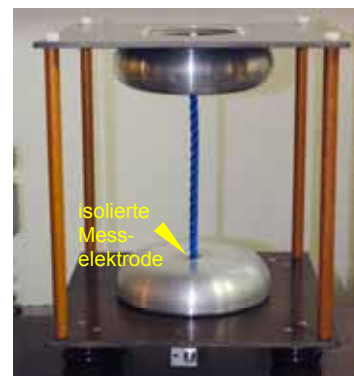


Bild 2: Prüfanordnung Schutzring

Die Prüfung des trockenen Seiles erfolgt mit einer zwischen zwei Drahringelektroden ($s = 300 \text{ mm}$) angelegten Wechselspannung von 100 kV (Bild 1). Dabei liegt die Beanspruchung des Seiles weit über den im praktischen Einsatz auftretenden mittleren Feldstärken von $0,7 \dots 0,9 \text{ kV/cm}$.

Die hohe Beanspruchung der Prüfstrecke und die Kontaktierung mittels Drahringelektroden führen zu einem beträchtlichen kapazitiven Strom entlang der Prüfstrecke. Messungen an einer Prüfstrecke ohne Seil ergeben Ableitströme von $70 \dots 100 \mu A$. Dieser Strom liegt nahe am Prüfkriterium nach DIN EN 62192. Mit dieser Anordnung ist demzufolge lediglich die elektrische Festigkeit des Seiles nachweisbar. Genauere Aussagen über

die dielektrischen Eigenschaften eines Seiles erhält man bei Einsatz Prüfanordnung mit isolierter Messelektrode in einer Schutzringelektrode (Bild 2). Messungen an Propylenseilen ergeben Ableitströme von 1 ... 5 μA . Der Ableitstrom ohne Seil ist $< 1 \mu\text{A}$. Das Erkennen von produktions- bzw. betriebsbedingten Veränderungen der dielektrischen Eigenschaften von Seilen ist jedoch auch in dieser Anordnung schwer möglich. Wiederholungsprüfungen mit verminderter Beanspruchung sind nahezu ausgeschlossen.

Entsprechend wurde die Anwendbarkeit von Verfahren zur dielektrischen Beurteilung von Isolierstoffen im Hinblick auf isolierende Seile untersucht. Die Messung des Verlustfaktors von Seilen aus Polypropylen erfolgte in einer Prüfanordnung mit Schutzringelektrode (Bild 2). Gemessene Änderungen des Verlustfaktors konnten auf Änderungen der Leitfähigkeit von Schichten auf den Seilfasern (Additive bzw. Verschmutzung) zurückgeführt werden (Bild 3).

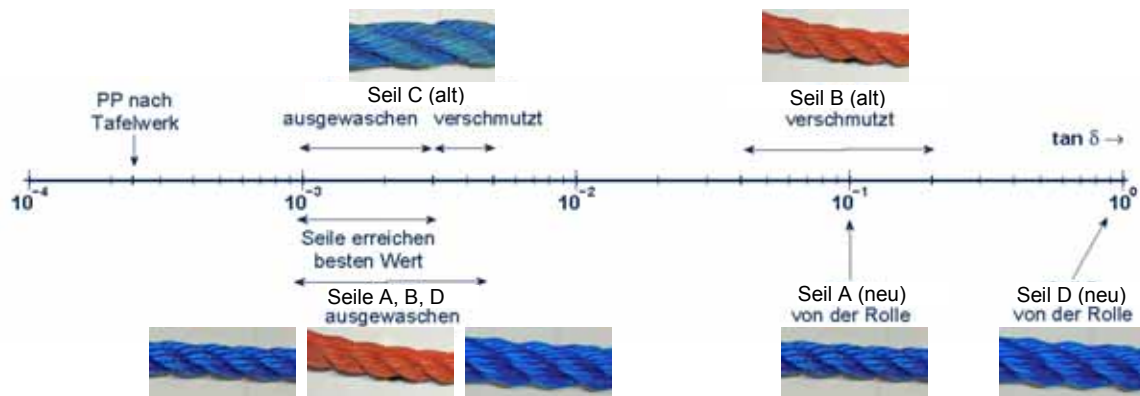


Bild 3: Untersuchte Seile – Änderung des Verlustfaktors nach Auswaschen

Zur Untersuchung unterschiedlicher Alterungszustände wurden neue Seile aus Polypropylen definierten Belastungszyklen unterzogen.

Die Varianten

- Alterungszyklus (Wasserlagerung, Spannungsbelastung, 20 Zyklen)
- Materialversprödung (niedrige und hohe Temperaturen, UV-Strahlung)
- Witterungseinflüsse (Auslagerung im Freien)

führten jedoch zu keiner nachweisbaren Änderung des Verlustfaktors.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Messungen des Verlustfaktors an isolierenden Seilen reproduzierbar durchgeführt werden können. Im Vergleich zu der Prüfanordnung mit Schutzring können hauptsächlich Änderungen der Leitfähigkeit besser erkannt werden.



Stephanie Pfeifer, Dipl.-Ing.

Charakterisieren der Eigenschaften von intermetallischen Phasen der Systeme Aluminium-Kupfer und Aluminium-Silber

Um das Langzeitverhalten von elektrischen Verbindungen abschätzen zu können, ist ein genaues Verständnis der ablaufenden Mechanismen und ihrer zugrunde liegenden physikalischen Prozesse sowie deren mathematischer Zusammenhänge notwendig. Neben weiteren wichtigen Alterungsprozessen, wie zum Beispiel dem Kraftabbau und der chemischen Reaktion, spielt auch die Interdiffusion und das damit verbundene Bilden intermetallischer Phasen (IMP) eine wichtige Rolle im Degradationsprozess von elektrischen Verbindungen. Besonderes Interesse gilt hier den Metallpaarungen Aluminium-Silber und Aluminium-Kupfer.

In der Literatur werden verschiedene mathematische Ansätze zur Berechnung von Diffusionsprozessen aufgezeigt. Um die angegebenen Gleichungen lösen zu können, werden spezielle physikalische Eigenschaften, wie zum Beispiel der Diffusionskoeffizient oder die Aktivierungsenergie benötigt. Im Allgemeinen werden solche Größen experimentell bestimmt. Für den aus energietechnischer Sicht interessanten Temperaturbereich zwischen 90 °C und 200 °C existieren nur wenige solche Untersuchungen für die angegebenen Materialpaarungen. Werden die verfügbaren Werte für das System Al-Cu gegenübergestellt fällt auf, dass unterschiedliche Herstellungsverfahren oder Prozessparameter zu unterschiedlichen Eigenschaftswerten führen. Bild 1 verdeutlicht diesen Sachverhalt anhand des spezifischen elektrischen Widerstands.

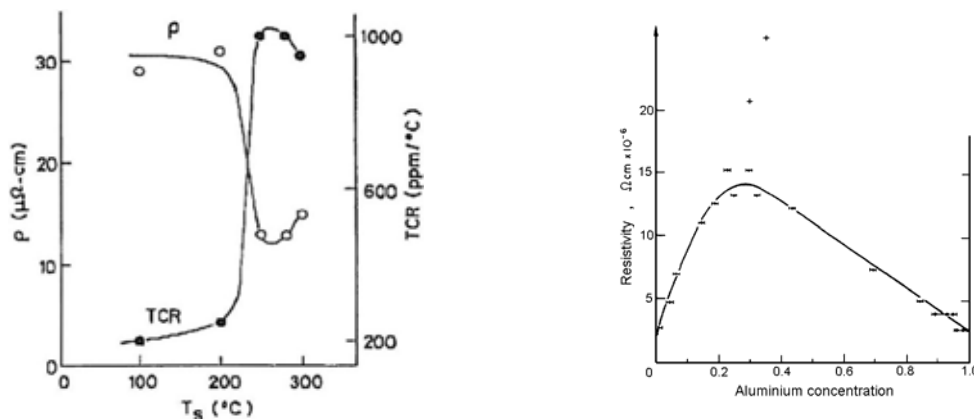


Bild 1: Spezifischer elektrischer Widerstand im System Al-Cu
a) für die Phase Al_4Cu_9 abhängig von der Substrattemperatur [1]
b) abhängig von der Aluminiumkonzentration ($T_{\text{Substrat}} = 200\text{ }^\circ\text{C}$) [2]

Das System Al-Ag ist bisher nur wenig untersucht worden, weshalb eine vergleichende Auswertung der Literatur nicht möglich ist bzw. einige Parameter gar nicht zur Verfügung stehen. Es existiert also hinsichtlich der Bimetallverbindungen aus Al-Cu und Al-Ag eine unsichere, teils widersprüchliche Datenlage. Die Integration bzw. das sichere Einordnen des Alterungsprozesses „Interdiffusion“ in den Prozess der Alterung elektrischer Verbindungen wird dadurch erschwert.

In dieser Arbeit wird an phasenreinen Proben der IMP beider Systeme eine ausführliche Charakterisierung durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf den elektrischen Eigenschaften liegt. Die Proben werden durch verschiedene Prozesse hergestellt (z. B. Sputtern, elektrochemische Abscheidung) und dann die Ergebnisse direkt miteinander verglichen, um den Einfluss des Herstellungsverfahrens genauer zu bestimmen.

Die elektrischen Eigenschaften werden anhand einer Strom-Spannungsmessung ermittelt. In einem Wärmeschrank werden die Versuche bei verschiedenen Temperaturen wiederholt, um den Temperaturbeiwert des spezifischen elektrischen Widerstands zu bestimmen.

An einem Prototyp des Versuchsaufbaus (Bild 2) konnten bereits erfolgreich exemplarische Messungen an den IMP AlCu und Al₂Cu vorgenommen werden. Die verwendeten Materialien und die Geometrie müssen noch für den Einsatz im Wärmeschrank angepasst werden, so dass die Messungen bis 200 °C ohne durch thermische Dehnung verursachte mechanische Spannungen oder Zerstörung der verwendeten Komponenten möglich ist.

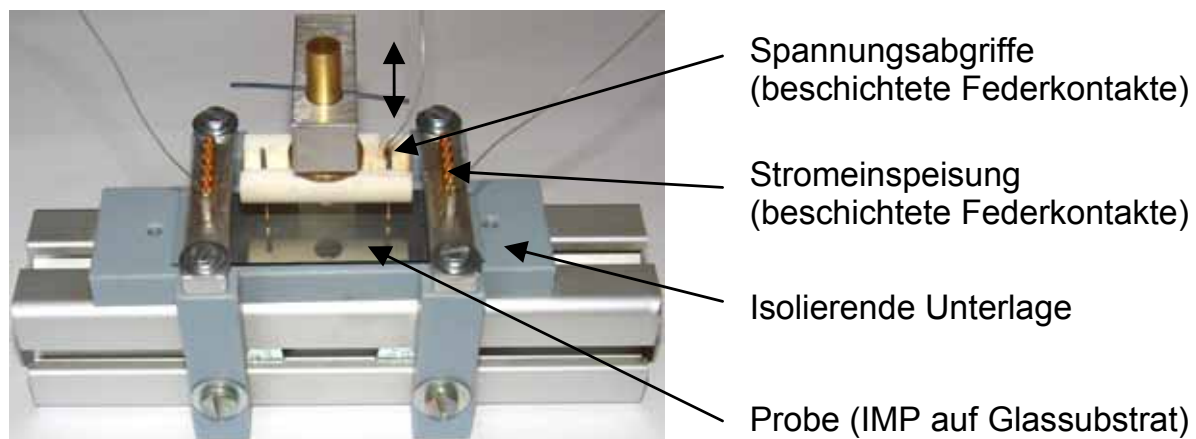


Bild 2: Fotografie des Prototypen

- [1] Noya, A., Sasaki, K.: Preparation of Intermetallic Compound Films as a Metallization Material for LSI Technology. *Jap. J. Appl. Phys.* 30 (1991) 624
- [2] d'Heurle, F., Alliota, C., Angilello, J., Brusica, V., Dempsey J., Irmischer, D.: The deposition by evaporation of Cu-Al alloy films. *Vacuum Vol. 27 No.4*



Stephan Schlegel, Dr.-Ing.

Funktion von Schmelzsicherungen bei erhöhter Temperatur

Sicherungen sind wichtige Betriebsmittel, um elektrotechnische Anlagen vor Überstrom zu schützen. In der Elektroenergietechnik finden sie häufig in Form von **Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungen (NH)** Anwendung, z. B. in der Hauptverteilung von Niederspannungsschaltanlagen oder bei Hausanschlüssen (Bild 1a). Im Normalbetrieb muss die Sicherung je nach Größe Nennströme bis zu 1,6 kA sicher führen und bei Überlast oder Kurzschluss in definierter Zeit abschalten. NH-Sicherungen können dabei Kurzschlussströme bis zu 120 kA abschalten.

Die Schaltfunktion der Sicherung wird über einen aus Kupfer oder Feinsilber bestehenden Schmelzleiter realisiert, der mit definierten Engstellen versehen ist. Bei Strömen, die deutlich über dem Bemessungsstrom liegen, wird dieser Schmelzleiter thermisch so hoch beansprucht, dass er im Bereich der Engstellen aufschmilzt und den Strompfad unterbricht (Bild 1b). Zudem werden die Engstellen häufig mit Zinn beschichtet. Bei Überlast wird durch Interdiffusion des Kupfers in das Zinn und umgekehrt ein Erhöhen des Widerstandes erreicht und damit ein zuverlässiges Abschalten gewährleistet (Bild 1b).

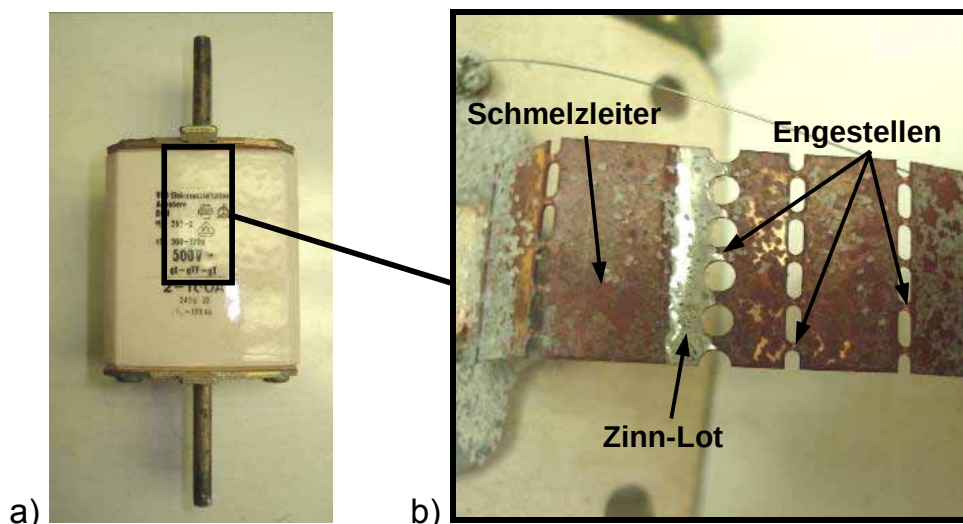


Bild 1: a) NH-Sicherung, b) Kupfer-Schmelzleiter mit Engstellen und Zinn-Lot

Das Schaltverhalten der Sicherung hängt damit direkt von ihrer Temperatur ab. In der Niederspannungstechnik sind die Abstände zwischen den Be-

triebsmitteln gering und der Trend geht zu einer immer kompakteren Bauweise. Zudem wird die Grenztemperatur von Betriebsmitteln immer weiter erhöht. Derzeit wird beispielsweise in der Norm für Niederspannungsschaltgerätekombinationen (IEC 61439-1:2009) eine Grenztemperatur der Sammelschienen von 140 °C zugelassen. Dies führt zu einer erhöhten thermischen Beanspruchung der Sicherung im Normalbetrieb und beeinflusst deren Alterung und damit das Schaltverhalten signifikant. In der Vergangenheit führte dies bereits zum Auslösen von Sicherungen unterhalb des Bemessungsstromes. In Versuchen soll deshalb der Einfluss der erhöhten Umgebungstemperatur auf das Schaltverhalten der Sicherungen untersucht werden. Dazu wird die Alterung von NH-Sicherungen der Baugröße 2 mit einem Bemessungsstrom von 400 A in einem Niederspannungskabelverteilerschrank (NKVS) bei unterschiedlichen Umgebungs- und Sammelschientemperaturen untersucht (Bild 2a).

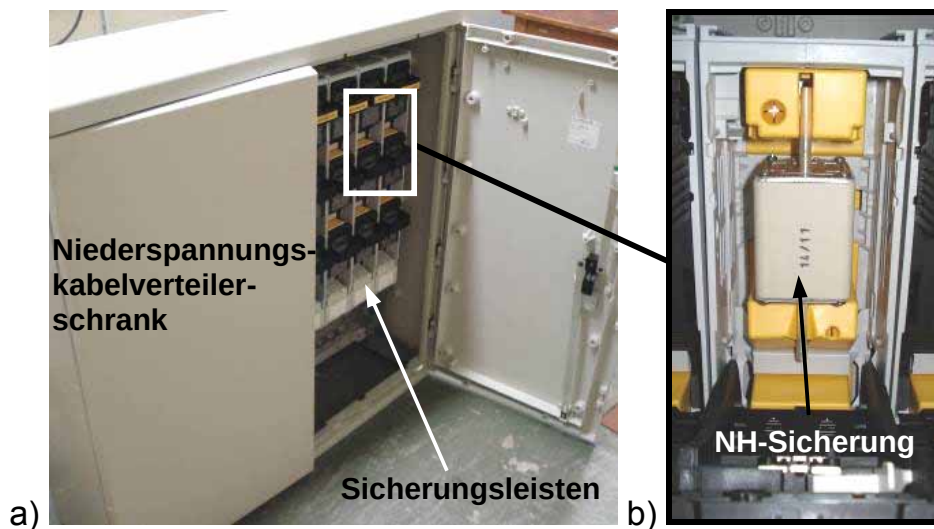


Bild 2: a) Niederspannungskabelverteilerschrank, b) Sicherungsleiste

Um die Temperatur messen zu können, werden Thermoelemente (Typ K) an verschiedenen Stellen im NKVS und an den Betriebsmitteln angebracht. Zudem wird die Temperatur der Engstellen in der Sicherung gemessen. Dazu werden die Sicherungen mit Haarthermoelementen präpariert. Anschließend werden diese in die Sicherungsleisten eingebaut und mit Bemessungsstrom belastet (Bild 2b). Um die Temperatur der unbeeinflussten Sammelschiene auf einen definierten Wert einstellen zu können, wird diese über einen separaten Stromkreis gespeist. Parallel zu den Untersuchungen wird ein Wärmenetz zum Berechnen der Temperaturverteilung außerhalb und innerhalb der Sicherung aufgebaut. In weiteren Versuchen wird zudem der Einsatz von bleifreien Loten auf die Interdiffusion im Bereich der Engstelle und damit dem Schaltverhalten der Sicherung untersucht. Ergebnis und damit Ziel aller Versuche ist es, die Alterung der Sicherungen bei erhöhter Temperatur zu bestimmen und eine Grenztemperatur für den zuverlässigen Einsatz festzulegen.



Matthias Voigt, Dipl.-Ing.

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

Der Ausbau der erneuerbaren Energiequellen wird aufgrund des Rückgangs der fossilen Rohstoffe im 21. Jahrhundert eine große Herausforderung darstellen. Neben Wind-, Solar- und Wasserkraftwerken rücken verstärkt auch Geothermiekraftwerke (Bild 1) in den Mittelpunkt. Die Geothermie hat den großen Vorteil, dass sie kontinuierlich Energie zur Verfügung stellt und somit im Gegensatz zur Wind- und Solarenergie zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt werden kann.

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

Mit dem Elektro-Impuls-Verfahren kann eine Bohrung nahezu verschleißfrei durchgeführt werden, wodurch sich die Kosten erheblich verringern lassen. Dabei wird das Gestein mithilfe von elektrischen Entladungen zerstört. Ein Marxgenerator (Bild 2) erzeugt die dafür notwendigen hohen Spannungen.

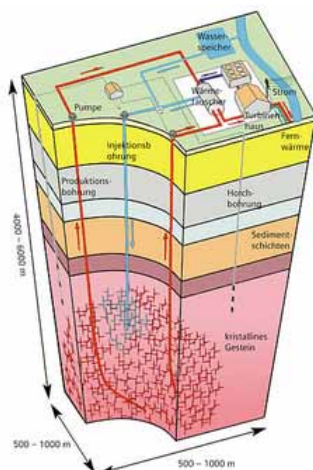


Bild 1: Schema einer Geothermieranlage [1]

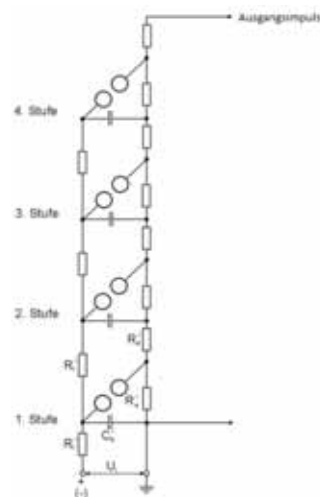


Bild 2: Marxgenerator

Zur Untersuchung des Zusammenspiels von Elektro-Impulsen, Gesteinsart, Druck und Temperatur wurde ein Versuchsstand aufgebaut (Bild 3). Dabei werden die n Kondensatorstufen des Marxgenerators parallel über eine Gleichspannungsquelle aufgeladen. Durch das getriggerte Zünden der Funkenstrecken werden die Kondensatoren schlagartig in Reihe geschaltet, wodurch ein im Vergleich zur Ladespannung n -fach höherer Ausgangsimpuls erreicht wird. Über spezielle Elektroden wird dieser Impuls auf die Gesteinsoberfläche geleitet. Ist der Impuls steil genug, kommt es zum Durchschlag im Gestein, wodurch dieses abgetragen wird (Bild 4).



Bild 3: Versuchsstand und Marxgenerator

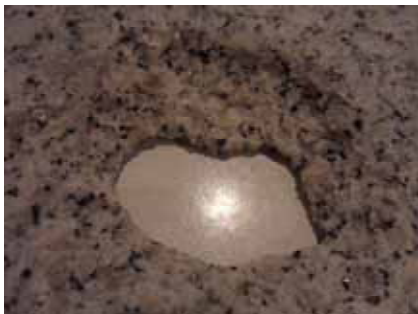


Bild 4: Bohrung in Granitstein

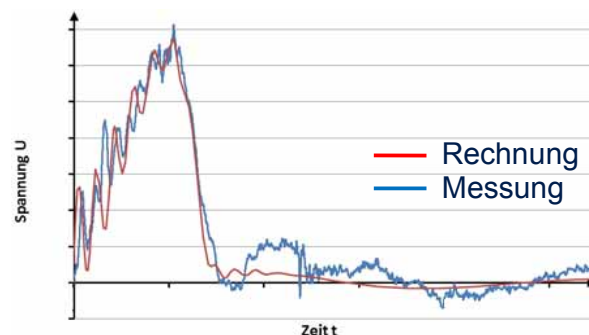


Bild 5: Messung und Rechnung

Des Weiteren wurde ein PSpice-Modell des Versuchsaufbaus erstellt, um die Auswirkungen von Änderungen in der Schaltung bereits vor der Realisierung berechnen zu können. Dabei konnten gute Übereinstimmungen von Messung und Rechnung erzielt werden (Bild 5).

In weiteren Schritten werden verschiedene Elektrodenkonfigurationen bezüglich der Effektivität des Gesteinsabtrages getestet, sowie der Einfluss von Temperatur und Druck auf das elektrische Verhalten des Marxgenerators untersucht.

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



Moyan Wei, M.Eng.

Weiterentwicklung des Endenglimmschutzsystems

Eine wichtige Tendenz der Generatorentwicklung, aufgrund der steigenden Anforderungen an den Wirkungsgrad, ist die erhöhte Betriebsspannung. Im Bereich der Nutenden der rotierenden Hochspannungsmaschinen werden Endenglimmschutzkomponenten (EGS) in Form von Lack oder Bändern benutzt, um dort das Potential abzusteuern [1]. Das Prinzip der Feldsteuerung basiert auf der nichtlinearen elektrischen Eigenschaft des Werkstoffs. In der Regel werden mit SiC-Partikel oder ZnO-Mikrovaristor gefüllte Polymermatrizen verwendet. Die Nichtlinearität kommt durch die sogenannten „double-Schottky-barrier-like“-Korngrenzfläche zwischen den Partikeln (SiC) oder innerhalb der polykristallinen Kornstruktur (ZnO) zustande. Im Bereich hoher Feldstärken werden die Stoffe leitfähiger und senken damit die Feldstärke ab. Der dadurch hervorgerufene Stromfluss führt zu einer Erwärmung des EGS. Beim Design eines EGS muss eine geeignete Optimierung umgesetzt werden, so dass sowohl eine ausreichende Feldsteuerung als auch eine akzeptable Temperaturerhöhung realisierbar ist.

Mithilfe eines eindimensionalen „Transmission Line Network“-Modells, kann sowohl das elektrische Verhalten (Spannungsverteilung und Verlustleistung) als auch die Erwärmung des EGS vorausberechnet und für weiteres Variantendesign genutzt werden. Das ganze Objekt wird in Längsabschnitte eingeteilt, die jeweils durch ein vereinfachtes elektrisches Netz modelliert werden (Bild 1). Das Modell besteht aus dem Leiter, der Hauptisolierung, die als Kapazität nachgebildet wird, und EGS-Material, das als Parallelschaltung einer Kapazität und eines nichtlinearen Widerstandes modelliert wird. Mit der Parallelschaltung mehrerer Elemente wird ein beliebiges Objekt nachgebaut. Die Kapazitätsparameter wurden aus der Geometrie geschätzt, währenddessen die nichtlineare Leitfähigkeit durch „Curve Fitting“ aus experimentellen Untersuchungen bestimmt wurden.

Die Potentialverteilung in der EGS-Schicht wird in Bild 2 dargestellt. Die Verläufe stellen die Ergebnisse für sechs Stäbe mit unterschiedlichen Feldsteuerungsmaterialien dar. Der Bereich des EGS ist im Diagramm im Bereich mit den beiden senkrechten Pfeilen gekennzeichnet. Auf der Oberfläche des EGS treten z. T. höhere Potentiale als die angelegte Spannung auf. Diese werden durch Phasenverschiebung, die durch die nichtlineare Widerständen entstehen. Mithilfe der in der elektrischen Berechnung ermittelten Spannungen und Ströme, wird die Verlustleistung

im EGS berechnet und als Grundlage für die thermische Berechnung genutzt. Zur Erwärmungsberechnung wird die Wärmenetzmethode [2] benutzt. Im Modell werden die Verlustleistungen im EGS und im Leiter berücksichtigt. Die erzeugte Wärme wird durch Strahlung und Konvektion an die Umgebung abgegeben. Die eindimensionalen Temperaturlängsverteilungen an der Staboberfläche mit unterschiedlichen EGS-Materialien bei Prüfspannung unter Laborbedingungen sind in Bild 3 dargestellt. In weiteren Schritten werden mit dem entwickelten Model neue EGS-Designs vor der Prototypproduktion hinsichtlich der Performance der Feldsteuerung und Erwärmung entwickelt.

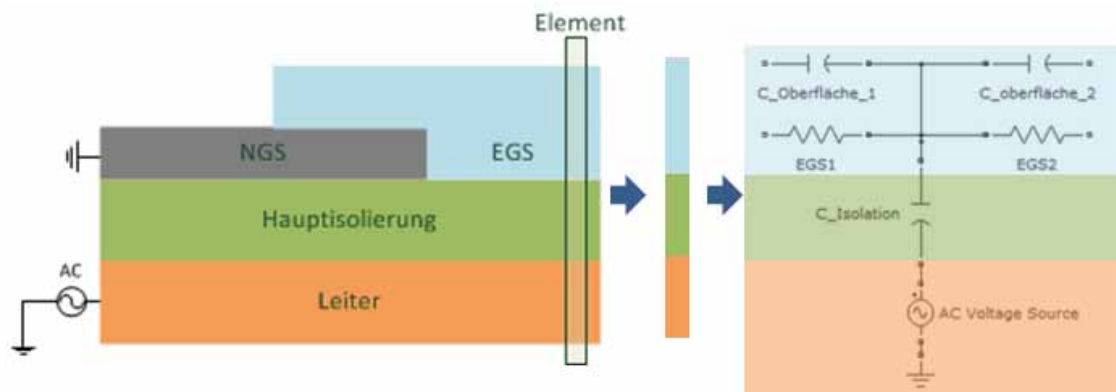


Bild 1: Das „Transmission line network“-Prinzip der Modellierung

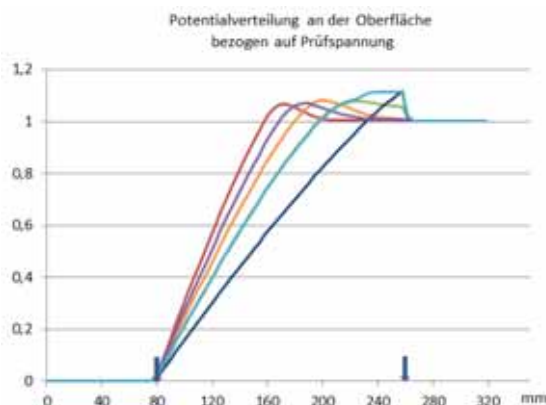


Bild 2: Simulationsergebnisse der Feldsteuerung: Potentialverteilung

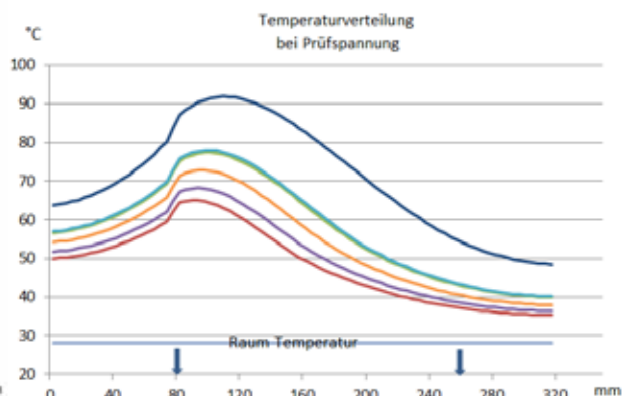


Bild 3: Simulationsergebnisse der Erwärmung: Temperaturverteilung

- [1] Conley D.J., Frost, N.: "Fundamentals of Semi-conductive Systems for High voltage Stress Grading", Electrical Insulation Conference, 2005, p89
- [2] Böhme, H.: Mittelspannungstechnik, Schaltanlagen berechnen und entwerfen, 2. stark bearbeitete Auflage, Berlin: Verlag Technik, 2005

Forschung

Diplomarbeiten

Voigt, Matthias

Langzeitverhalten geschraubter Stromschienenverbindungen mit und ohne Federelementen

DA 04/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. S. Schlegel)

Zielke, Volker

Untersuchungen zum Gleitverschleiß an elektrischen Steckverbindungen mit versilberten und verzinnenden Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen

DA 05/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke)

Karpuk, Denys

Untersuchung zur Dimensionierung von Luftstrecken und Abschirmelektroden von Sammelschienen in HGÜ-Systemen

DA 06/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. H.-P. Pampel)

Fuhrmann, Torsten

Untersuchungen zur Konvektion im waagerechten Ölkanal mit und ohne Papierisolierung

DA 01/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. M. Conrad)

Hering, Maria

Untersuchungen zur Messung des Verlustfaktors von isolierenden Seilen für das Arbeiten unter Spannung

DA 03/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. H.-P. Pampel)

Gatzsche, Michael

Berechnungen zur Stromverteilung bei Steckverbindungen mit mehreren parallelen Kontaktelementen

DA 10/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke)

Studienarbeiten

Wetzel, Hauke

Bestimmen der Mindestverbindungskraft bei blanken und beschichteten, geschraubten Kupfer-Stromschienenverbindungen

SA 07/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. S. Schlegel)

Warmbold, Daniel

Untersuchungen zur Erwärmung und zum Langzeitverhalten von Leiterseilen, Klemmen- und Pressverbindungen

SA 09/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Hildmann)

Kühnel, Christian

Untersuchung zur Funkenentstehung an Verbindungen der Blitzschutztechnik

SA 04/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Hildmann)

Sörgel, Anna

Untersuchungen zur Messung des Temperaturverhaltens von isolierenden Seilen für das Arbeiten unter Spannung

SA 08/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. H.-P. Pampel)

Vorträge

Adam, Robert

Investigation of the current displacement in main busbar systems with several subconductors of low-voltage switchgear and control gear assemblies
5th Annual International Travelling Conference for Young Researchers and PhD Students ERIN 2011, Tatranská Kotlina/Slovakia, 13.-16.04.2011

Conrad, Melanie

Untersuchungen zum Erwärmungsverhalten von Spulen mit waagerechten Ölkanälen

HIGHVOLT Kolloquium 2011, Dresden, 19.-20.05.2011

Hildmann, Christian

Thermische und mechanische Wirkung hoher Impulsströme auf Verbindungen der Blitzschutztechnik

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Darmstadt, 07.-09.07.2011

Kaufmann, Benjamin

Anwendung von CFD zur thermischen Berechnung von GIS-Komponenten

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Darmstadt, 07.-09.07.2011

Voigt, Matthias

Entwicklung eines Bohrkopfes für Tiefen-Geothermie basierend auf dem Elektro-Impuls-Verfahren

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Darmstadt, 07.-09.07.2011

Forschung

Pampel, Hans-Peter

Untersuchungen zum dielektrischen Verhalten von isolierenden Seilen für das Arbeiten unter Spannung

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Darmstadt, 07.-09.07.2011

Backhaus, Karsten

Elektrische Festigkeit und Leitfähigkeitsverhalten der Öl-Papier-Isolierung bei hoher Gleichspannung

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Darmstadt, 07.-09.07.2011

Backhaus, Karsten

Dielectric strength and conductivity behaviour of oil-paper-insulation

XVII International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Hannover, 22.-26.08.2011

Speck, Joachim

Dimensioning and testing of DC insulations in air

XVII International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), Hannover, 22.-26.08.2011

Großmann, Steffen

Erfahrungen zum Langzeitverhalten von Aluminium-Verbindungen in Starkstromanlagen

21. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 28.-30.09.2011

Lücke, Nils

Werkstoffe und elektrische Verbindungen

Industriepartner-Symposium, TU Dresden, 06.10.2011

Voigt, Matthias

Entwicklung eines Bohrkopfes für Tiefen-Geothermie basierend auf dem Elektro-Impuls-Verfahren

Industriepartner-Symposium, TU Dresden, 06.10.2011

Dreier, Sebastian

Transmission of Renewable Energies Under Extreme Conditions

PEIT 2011, Alexandria/Ägypten, 09.-12.10.2011

Großmann, Steffen

Zum Langzeitverhalten von Verbindungen der Elektroenergietechnik

Fachtagung der PFISTERER-Holding AG, Winterbach, 01.12.2011

Veröffentlichungen

Adam, R.; Großmann, S.; Muck, F.; Reinker, W.:
Investigation of the current displacement in main busbar systems with several subconductors of low-voltage switchgear and control gear assemblies.
5th Annual International Travelling Conference for Young Researchers and PhD Students ERIN 2011, Tatranská Kotlina/Slovakia, 13.-16.04.2011, S. 155-164.; ISBN 978-80-89347-04-9

Conrad, M.; Speck, J.; Großmann, S.:
Investigations of the heating behaviour of coils with horizontal oil-cooling ducts.
HIGHVOLT Kolloquium 2011, Dresden, 19.-20.05.2011

Adam, R.; Großmann, S.; Muck, F.; Reinker, W.:
Investigation of the current displacement depending on the design of main busbar systems with several subconductors in low voltage switchgear and control gear assemblies.
3th International Youth Conference on Energetics 2011, Leiria/Portugal, 07.-09.07.2011, Paper 078_165_1

Backhaus, K.; Speck, J.; Großmann, S.; Fritze, T.; Fritsche, R.; Schenk, M.:
Dielectric strength and conductivity behaviour of oil-paper-insulation.
XVII International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover, 22.-26.08.2011, paper D-032

Ovsyanko, I.; Speck, J.; Großmann, S.:
Dimensioning and testing of DC insulations in air.
XVII International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover, 22.-26.08.2011, paper_C-012

Rösner, M.; Fiddes, H.; Küstermann, M.; Schenk, M.; Kuchler, A.; Grossmann, S.; Speck, J.:
About the measurement of DC electric fields under stationary and transient operation in oil impregnated DC insulation systems.
XVII International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover, 22.-26.08.2011, paper_D-059

Großmann, S.; Löbl, H.; Schlegel, S.:
Erfahrungen zum Langzeitverhalten von Aluminium - Verbindungen in Starkstromanlagen.
21. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 28.-30.09.2011, paper_D-032

Forschung

Dreier, S.; Großmann, S.; Moustafa, G.; Hildmann, C.:
Transmission of Renewable Energies under Extreme Conditions.
PEIT 2011, Alexandria/Ägypten, 09.-12.10.2011

Adam, R.; Großmann, S.; Muck, F.; Reinker, W.:
Probleme der thermischen Dimensionierung von Niederspannungs-
Schaltgerätekombinationen.
Internationaler ETG-Kongress 2011, Würzburg, 08.-09.11.2011, P04,
ISBN 978-3-8007-3376-7

**Dissertationen
&
Habilitation**



Ina Berg, Dr.-Ing.

Untersuchungen zur Strombelastbarkeit der Geräte der Elektroenergieübertragung unter Freiluftatmosphäre

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen – TU Darmstadt

Durch die Liberalisierung des Strommarktes und den immer stärkeren Ausbau der Windenergieerzeugung erhöht sich der Stromtransport im Energieversorgungsnetz, wodurch die Betriebsmittel immer höher, bis an ihre thermischen Grenzen, belastet werden. Die Energieversorgung soll jedoch trotz der erhöhten Belastung jederzeit verfügbar sein und den bisherigen Sicherheitsstandards entsprechen. Da jedoch der Neubau bzw. Ausbau von Freileitungen und Umspannwerken kostenintensiv ist und Genehmigungsverfahren bis zu zehn Jahre dauern, müssen Lösungen gefunden werden, um auch kurz- bis mittelfristig den erhöhten Bedarf an Stromtransport durch die elektrischen Verbund- und Übertragungsnetze zu gewährleisten. In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit vorgestellt und untersucht, nach der die Betriebsmittel mit höheren als ihren Bemessungsströmen belastet werden können, ohne aufwendige Um- oder Ausbauten vornehmen zu müssen. Abhängig von der Umgebungstemperatur und der Windgeschwindigkeit ist es möglich die Betriebsmittel höher zu belasten, ohne ihre zulässigen Grenztemperaturen zu überschreiten (s. Bild 1).

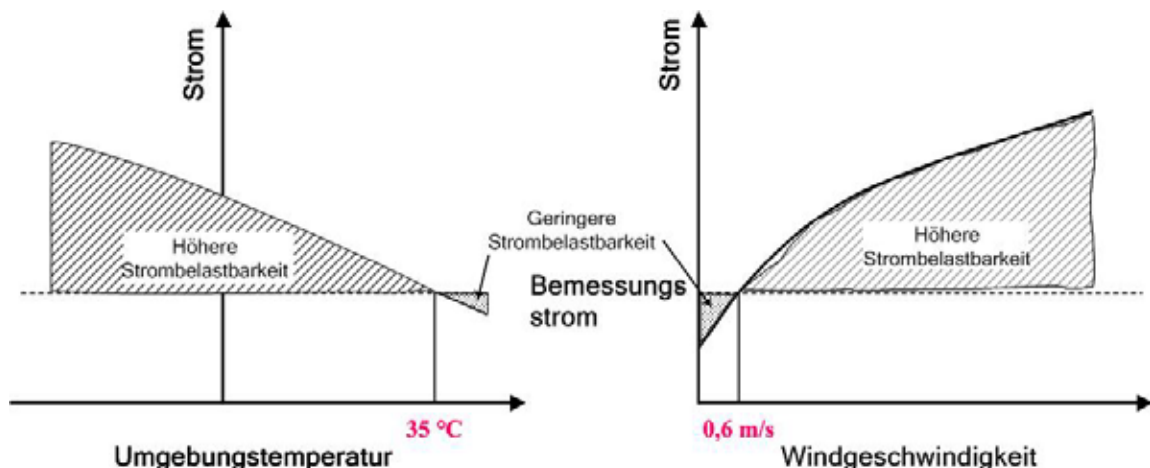


Bild 1: Schematische Darstellung der Strombelastbarkeit abhängig von den Umgebungsbedingungen

In der Dissertation wurden dazu die wesentlichen Komponenten einer Übertragungsleitung (Freileitungsseil, Leistungsschalter, Trennschalter und Stromwandler) an einem typischen Beispiel exemplarisch untersucht. Es wurde für jede Komponente ein Wärmenetz aufgebaut, das durch Experimente im Labor verifiziert wurde. Die Wärmenetze wurden dann dazu verwendet, die Strombelastbarkeit der Geräte abhängig von den Umgebungsbedingungen zu berechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Strombelastbarkeit aller Geräte (gekapselte und nicht gekapselte Strombahn) etwa gleich hoch ist. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Strombelastbarkeit ist dagegen abhängig von der Bauweise der Geräte (gekapselte und nicht gekapselte Strombahn) sehr unterschiedlich. Ein Leiterseil oder Trennschalter wird durch den Wind wesentlich besser gekühlt und kann damit bezogen auf den Bemessungsstrom mit einem höheren Strom belastet werden als ein gekapseltes Gerät, wie z. B. ein SF6-isolierter Leistungsschalter [1]. Deshalb und aus der Tatsache heraus, dass sich sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtung zeitlich und regional stark ändern können, wird die Berücksichtigung des Windes bei der Bestimmung der zulässigen Strombelastung nicht empfohlen.

Für die praktische Betriebsführung wird vorgeschlagen, die Strombelastbarkeit abhängig von der Umgebungstemperatur in Form einer zweistufigen Treppenfunktion zuzulassen. Bei dieser Treppenfunktion ist bereits ein Sicherheitszuschlag, der sich abhängig von der Umgebungstemperatur ändert, berücksichtigt. Somit ist es möglich, den Belastungsstrom des Leitungszuges auf bis zu 120 % zu erhöhen, ohne größere Risiken bei der Versorgungssicherheit einzugehen.

Eine Berücksichtigung der Umgebungstemperatur und der Windgeschwindigkeit bei der Festlegung höherer Belastungsströme wird nur bei sehr genauer Kenntnis der aktuellen Umgebungsbedingungen und sehr guten Vorhersagemodellen zur zeitlichen und räumlichen Verteilung der Windgeschwindigkeit und gleichzeitiger ständiger Berechnung der aktuellen Strombelastbarkeit aller Geräte für möglich erachtet.

Gleichzeitig muss bei einer Erhöhung der Belastungsströme beachtet werden, dass die betroffenen Geräte durch die höheren Ströme schneller altern. Berechnungen am Beispiel einer T-Abzweigklemme zeigen z. B. eine deutliche Verkürzung der Lebensdauer [2].

- [1] Berg, I.: Strombelastbarkeit gekapselter Geräte in der Elektroenergietechnik abhängig von den Umgebungsbedingungen am Beispiel eines SF6-isolierten Leistungsschalters, Jahresbericht IEEH, 2006
- [2] Berg, I.: Untersuchungen zur Alterung von Klemmverbindungen nach Norm EN 61284 (1997), Jahresbericht IEEH, 2005



Philipp Stachel, Dr.-Ing.

Automatisierte Auswertung von Stördatenaufzeichnungen – Signaltheoretische Grundlagen und erste Anwendungen zur Bewertung des Schutzsystems

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. Z. A. Styczynski – TU Magdeburg

Mit zunehmender Auslastung der Übertragungsnetze aufgrund hoher, fluktuierender Energietransporte über große Entfernungen wird es für den Netzschutz immer schwieriger, zwischen Starklastfällen und Kurzschlüssen mit minimalen Fehlerströmen zu unterscheiden.

Eine rechnergestützte automatisierte Übertragung, Analyse, Auswertung und Archivierung der Stör- und Ereignisdatenaufzeichnungen beschleunigt den Prozess der Störungsaufklärung und liefert wertvolle Zusatzinformationen für den Netzbetrieb, das Asset Management und zur Bewertung des Netzschutzes.

Bezugnehmend auf die in einer Technischen Empfehlung [1] gestellten Anforderungen an eine zukünftige automatisierte Auswertung von Stördatenaufzeichnungen wurden in dieser Arbeit Verfahren und Wege zur Realisierung solcher Analysesysteme aufgezeigt. Die dazu erarbeiteten Algorithmen mit wenigen bzw. ohne manuell einzugebende Zusatzinformationen wurden i. d. R. sowohl an simulierten als auch an realen Aufzeichnungen überprüft, um deren praxisnahe und kurzfristige Anwendbarkeit zu evaluieren.

Die Grundlage automatisierter Auswertungen ist eine zuvor durchgeführte Segmentierung der analogen und binären Signale in Zustände (z. B. Vorfehler, Fehler). Durch Analyse der Analogsignale in Stördatenaufzeichnungen ist es möglich, diese automatisiert nur aus den Informationen der COMTRADE-Dateien in Zustände zu segmentieren.

Ein neuartiges Segmentierungsverfahren auf Basis kombinierter signaltheoretischer Methoden – Diskrete Wavelet-Transformation (DWT) und lineare Prädiktion (LPC) – wurde entwickelt und an synthetischen sowie realen Stördatenaufzeichnungen umfassend getestet.

Die Detektion von Stromwandlersättigungen ist ein Anwendungsbeispiel für die automatisierte Stördatenauswertung und dient der Bewertung des Schutzsystems. Mit Hilfe eines neuartigen, kombinierten Verfahrens auf Basis zweier der Fachliteratur entnommener Methoden gelingt die Korrektur

verfälschter sekundärseitiger Stromsignale ohne zusätzliche Dateneingabe von Parametern.

Eine Trennung der ungesättigten von den gesättigten Signalabschnitten ist mit Hilfe der LPC und des geschätzten verketteten magnetischen Flusses möglich. Auf Basis der Ausgleichungsrechnung (Levenberg-Marquardt-Algorithmus) und einem Stromsignalmodell wurde anschließend der unverfälschte Stromverlauf geschätzt.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für die automatisierte Stördatenauswertung ist die Berechnung der Netzzeitkonstante T_N bzw. der Gleichstromzeitkonstante T_{ges} . Die Netzzeitkonstante ist ein wichtiger Parameter für die Auslegung elektrischer Betriebsmittel (z. B. Schutzstromwandler) einer Station sowie für die Netzberechnung. Je nach Schaltzustand bzw. Ausbaumaßnahmen im Netz ist deren Wert unzureichend bekannt. Durch die Analyse von Aufzeichnungen von Kurzschlussereignissen ist es möglich, die Netzzeitkonstante bzw. die Gleichstromzeitkonstante am Messort zu berechnen.

Zusätzliche Stromwandler (z. B. Zwischenwandler, Eingangswandler) im sekundären Messkreis der Datenquellen verfälschen den aufgezeichneten Gleichanteil in Stromsignalen. Mit Hilfe erweiterter Signalmodelle konnten die zusätzlich eingepprägten Gleichstromzeitkonstanten T_S und T_W neben T_{ges} geschätzt werden. Die Funktion eines darauf basierenden Verfahrens bestätigen Tests an realen Aufzeichnungen.

Eine Trennung der Zeitkonstanten ist möglich, falls diese sich signifikant unterscheiden. Eine eindeutige Zuordnung der auf diese Weise berechneten Zeitkonstanten zur gesuchten Gleichstromzeitkonstante der Kurzschlusschleife ist jedoch teilweise nur mit Zusatzinformationen möglich.

Ein Auswertesystem auf Basis von MATLAB und einer MySQL-Datenbank mit Zusatzinformationen (z. B. Netztopologie, elektrische Parameter von Betriebsmitteln, Haupt- und Reserveschutz) wurde im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und mit realen Stördatenaufzeichnungen eines Netzbetreibers getestet.

- [1] Arbeitsgruppe Stördatenerfassung und -auswertung: Systematische Stördatenerfassung und -auswertung. VDE, ETG/ITG, 2009



Roberto Schulze, Dr.-Ing.

Analyse von Stördatenaufzeichnungen zur Identifikation von Parametern unsymmetrischer Leitungen und zur Fehlerortung

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner – TU Dresden
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lothar Fickert – TU Graz

Beim Auftreten eines Fehlers im Elektroenergieübertragungsnetz werden Schutzgeräte oder Störschreiber angeregt und zeichnen Strom- und Spannungswerte auf. Diese Aufzeichnungen enthalten Informationen über die Parameter von Betriebsmitteln und über das Netz. Sie werden häufig nicht ausgewertet. Eine Analyse wird in der Regel nur bei schwerwiegenden Fehlern durchgeführt.

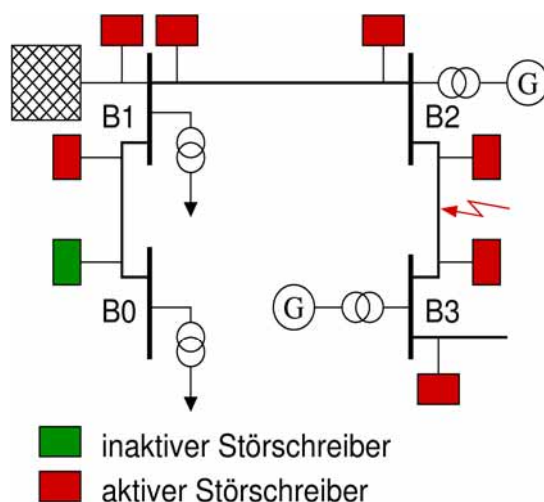


Bild 1: Anregeverhalten der Schutzgeräte eines beliebigen Netzausschnitts während eines Fehlers

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von Algorithmen zur Identifikation der Leitungsparameter und zur zweiseitigen Fehlerortung durch eine Analyse von Stördatenaufzeichnungen. Genaue Leitungsparameter erlauben eine präzise Fehlerortung, ggf. eine Korrektur der Schutzgeräteparametrierung sowie eine detaillierte Netzanalyse. Beide Methoden erfordern ein zweckmäßiges Leitungsmodell zur Beschreibung unterschiedlicher Selbst- und Koppelimpedanzen der Leiter. Da reale Stördatenaufzeichnungen oft nicht synchron aufgezeichnet werden, bedarf es für beide zweiseitigen Verfahren einen Algorithmus zur Resynchronisierung.

Zur Parameteridentifikation sind die Stördatenaufzeichnungen beider Stationen einer fehlerfreien Leitung erforderlich. Diese Leitung muss von einem Teilkurzschlussstrom durchflossen sein (vgl. Bild 1, Ltg. B1-B2), so dass es zu einer Anregung der Parameter kommt. Der messbare Spannungsabfall entlang der Leitung bildet mit den Längsströmen und den zu identifizierenden Impedanzen eine Schätzgleichung, die nach Anwenden der Methode der kleinsten Quadrate die gesuchten Impedanzen liefert. Das Identifikati-

onsproblem ist sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich formulierbar. Eine Darstellung im Frequenzbereich erfordert die Einführung zeitveränderlicher Zeiger, die eine Abbildung transienter Vorgänge in den Bildbereich ermöglichen. Speziell der transiente Bereich einer Stördatenaufzeichnung ist für die Identifizierbarkeit des Leitungsmodells notwendig. Im Zeitbereich bietet sich eine Modellierung der Abtastwerte im Fehlersegment der Aufzeichnung mithilfe eines Signalmodells an. Das mit der Prony-Methode ermittelte Signalmodell beschreibt die Kurzschlussströme in analytischer Form und ermöglicht eine exakte Berechnung von Zeitableitungen. Die statistische Auswertung eines gleitenden Analysefensters innerhalb des Fehlersegments liefert Identifikationsergebnisse mit Informationen über deren Vertrauenswürdigkeit, Bild 2.

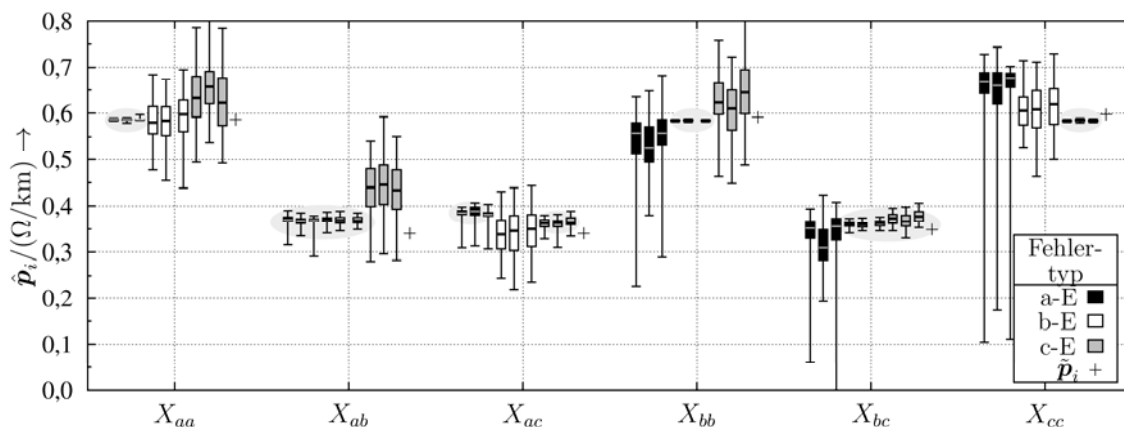


Bild 2: Box-Whisker-Plot der identifizierten Reaktanzen der Leitung des DNM des IEEH. Für jeden einpoligen Fehler (a-E, b-E, c-E) wurden drei Versuche durchgeführt. Auswertung von 100 Fensterpositionen mit je 50 Abtastwerten

Hellgrau hinterlegte Identifikationsergebnisse sind sehr gut. Der Einfluss dieser Parameter auf den ausgewerteten Längsspannungsabfall ist beim jeweiligen Kurzschlussstrom besonders groß und führt zu einer guten Identifizierbarkeit.

Die zweiseitige Fehlerortung ist prinzipiell auch im Frequenz- und im Zeitbereich darstellbar und basiert ebenfalls auf dem Impedanzmodell. Da die Zeigerberechnung bei kurzen Fehlerdauern zu fehlerhaften Ergebnissen führt, ist aber der Zeitbereichsansatz zu bevorzugen. Um den negativen Einfluss der Leitungsverdrillung auf die Fehlerortbestimmung zu kompensieren, sind die Verdrillungsorte bei der Fehlerortung zu berücksichtigen. Auch bei diesem Verfahren ist die Anwendung eines gleitenden Analysefensters sinnvoll.

Beide Methoden wurden mithilfe simulierter Teststördaten, realitätsnahen Stördaten des dynamischen Drehstromnetzmodells des IEEH und realen Stördaten eines deutschen Übertragungsnetzbetreibers untersucht.



Stephan Schlegel, Dr.-Ing.

Langzeitverhalten von Schraubenverbindungen mit Stromschienen aus Reinkupfer in der Elektroenergietechnik unter besonderer Berücksichtigung der Temperatur

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. Thomas Schoenemann – Universität Rostock

Es wurden die dominanten Alterungsmechanismen an Schraubenverbindungen mit unbeschichteten, versilberten und verzinnenden Cu-ETP (Werkstoff-Nr. CW004A) Stromschienen sowie unbeschichteten CuAg0,1P (Werkstoff-Nr. CW016A) Stromschienen untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, Aussagen zur physikalischen Grenztemperatur des Materials und der Beschichtung unter Berücksichtigung des Materialzustands und der geforderten Lebensdauer zu treffen.

Der Einfluss der Alterung durch den Kraftabbau und die Interdiffusion auf den Verbindungswiderstand und damit die Güte der Verbindungen wurden theoretisch und experimentell ermittelt. Dabei wurden folgende Ergebnisse erreicht:

- Der Kraftabbau hängt vom Setzen, der Spannungsrelaxation mit einem Kriechanteil und der Materialentfestigung ab.
- Die wirksamen physikalischen Mechanismen, die abhängig von der Temperatur auftreten, sind das Setzen, die dynamische Erholung und die dynamische Rekristallisation.
- In Langzeitversuchen wurde der Kraftabbau an Schraubenverbindungen mit Stromschienen aus Kupfer bei einer Temperatur von 105 °C, 140 °C und 160 °C bis zu einer Zeit von 20.768 h untersucht [1]. Dabei wurden Stromschienen in verschiedenen Materialzuständen (R250 und R300) verwendet. Des Weiteren wurden unterschiedliche federnde und nicht federnde Verbindungselemente eingesetzt.
- Mit den Ergebnissen aus den Langzeitversuchen und der Larson-Miller Methode wurde der Kraftabbau bis zu einer Lebensdauer von 50 a berechnet (Bild 1).
- Die Langzeitversuche haben gezeigt, dass Cu-ETP Stromschienen mit der geringeren mechanischen Festigkeit (geringerer Umformgrad) im Ausgangszustand (Materialzustand R250) das bessere Langzeitverhalten besitzen.
- Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Grenztemperatur von 140 °C für Schraubenverbindungen mit Stromschienen aus Reinkupfer nur bedingt zulässig ist.

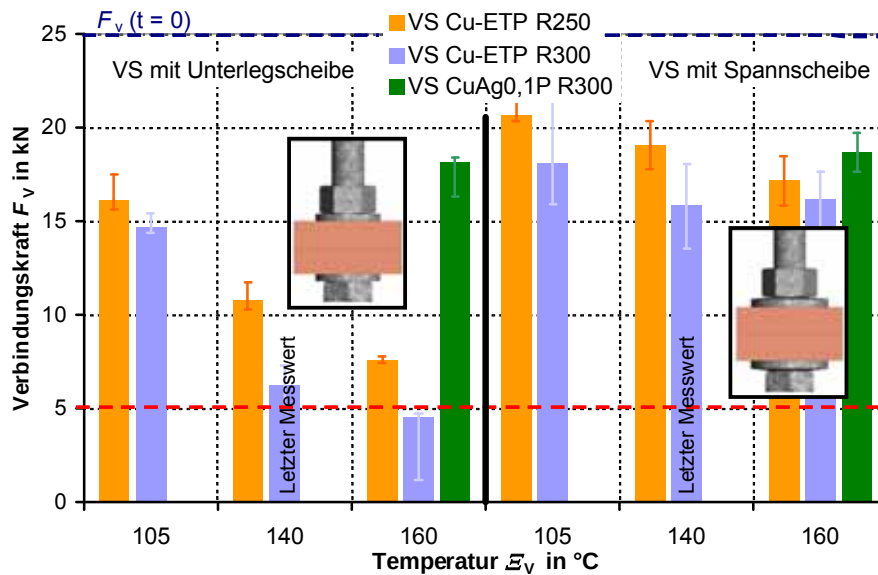


Bild 1: Verbindungskraft nach 50 Jahren abhängig von der Temperatur und dem Verbindungssystem (VS)

- Durch Fremd-(Inter-)diffusion können intermetallische Phasen (IMP) in den Verbindungen entstehen, die andere elektrische und mechanische Eigenschaften als die Ausgangsmetalle besitzen.
- In Langzeitversuchen wurde an Schraubenverbindungen mit versilberten und verzinneten Stromschienen (gerillte und ungerillte Verbindungsfläche) aus Cu-ETP R300 der Einfluss der Fremd-(Inter-)diffusion untersucht [2].
- Die Ergebnisse der Langzeitversuche haben gezeigt, dass der Verbindungswiderstand bis zu einer Zeit von maximal 17.520 h bei allen Verbindungen mit versilberten und gerillten, verzinneten Kontaktpartnern unverändert niedrig bleibt.
- Bei Schraubenverbindungen mit ungerillten, zinnbeschichteten Stromschienen erhöhte sich der Verbindungswiderstand bei einer Versuchstemperatur von 140 °C um bis zu 0,31 $\mu\Omega$ ($k_u = 1,19$) und bleibt danach zunächst konstant auf einem unkritischen Wert.
- Ergebnis der Untersuchungen war, dass eine Grenztemperatur von 140 °C für Schraubenverbindungen mit silber- und zinnbeschichteten Stromschienen nach jetzigem Stand der Untersuchungen möglich ist.

Neben den Langzeitversuchen wurde anhand aktueller Literatur der Einfluss der Fremdschichtbildung auf die Alterung von Verbindungen mit Kontaktpartnern aus Kupfer, Silber und Zinn betrachtet. Daraus wurde eine Empfehlung für die Vorbehandlung von derartigen Verbindungsflächen gegeben.

- [1] Schlegel, S.: Untersuchung des Langzeitverhaltens geschraubter Cu-Cu-Verbindungen bei Temperaturen über 105 °C, Jahresbericht IEEH 2009
- [2] Schlegel, S.: Einfluss der Interdiffusion auf die Alterung von Schraubenverbindungen mit verzinneten Kupfer-Stromschienen, Jahresbericht IEEH 2010



Catharina Friedrich, Dr.-Ing.

Ein Betriebsmodell zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Ressourceneinsatz und Versorgungszuverlässigkeit

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. M. Zdrallek – Universität Wuppertal

Die Versorgungszuverlässigkeit eines elektrischen Netzes ist heute nicht mehr allein Gegenstand der Netzplanung. Sie rückt durch die Einführung einer Anreizregulierung verbunden mit einer Qualitätsregulierung in den Fokus organisatorischer und strategischer Fragestellungen der Netzbetreiber.

Die Höhe der erlaubten Erlöse während einer Regulierungsperiode verändert sich a posteriori durch die realisierte Versorgungszuverlässigkeit während derselben Zeit. Dementsprechend haben Netzbetreiber ein Interesse, die (durchschnittliche) Systemqualität zu steuern. Mit dem Ziel des Verbraucherschutzes führen Regulierungsbehörden kundenbezogene, sog. garantierte, Standards ein. Der finanzielle Anreiz, diese Standards einzuhalten, sind üblicherweise Pönalen, die an alle z. B. von einer über den Standard hinaus gehenden Störungsdauer betroffenen Kunden zu zahlen sind. Beide Kenngrößen hängen neben äußeren Einflüssen, dem Zustand der Netze, den Netzkonzepten und dem Automatisierungsgrad maßgeblich von der Verfügbarkeit des eingesetzten Personals und organisatorischen Strukturen (Rufbereitschaften, Zuständigkeitsbereiche) ab. Diese Aspekte sind allerdings bei bisherigen Arbeiten zur Versorgungszuverlässigkeit weitgehend unberücksichtigt geblieben.

In dieser Arbeit dagegen wird erstmals ein Modell (vgl. Bild 1) für den operativen Netzbetrieb angewendet, das den Einfluss von Personaleinsatz und Personalverfügbarkeit in den Entstörungsprozessen auf die Versorgungszuverlässigkeit detailliert berücksichtigt. Insbesondere die Abhängigkeiten zwischen Wiederversorgungszeiten – also der störungsbedingten Versorgungszuverlässigkeit – und (begrenzter) Personalverfügbarkeit rücken in den Fokus der Modellierung.

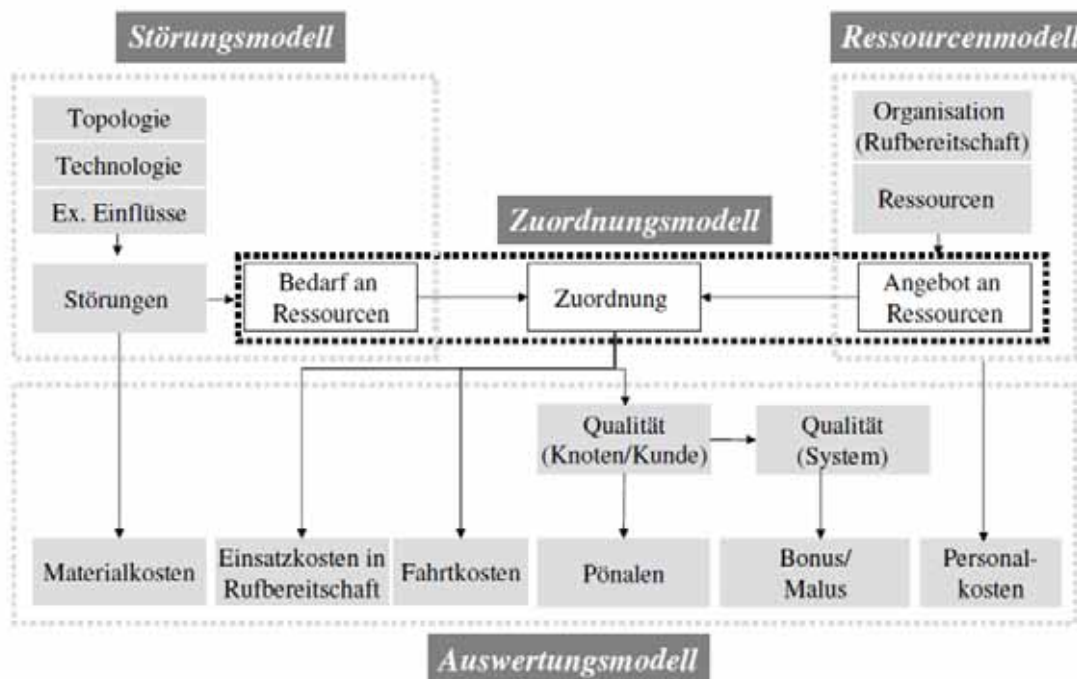


Bild 1: Modellübersicht

Ziel der Arbeit war es, mit Hilfe dieses Modells für den Entstörungsprozess in Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen den Einfluss der Anzahl vorhandener Ressourcen mit unterschiedlichen Qualifikationen, ihrer Zuständigkeit bei der Entstörung und des Zuschnitts von Servicebereichen auf die störungsbedingte Versorgungszuverlässigkeit zu quantifizieren und konkrete Organisationskriterien abzuleiten.

Dabei werden mit der sog. Generalisten- und Spezialistenorganisation verschiedene Möglichkeiten einer Ablauforganisation untersucht. Mit den entwickelten Organisationskriterien kann zusammen mit den Ergebnissen der vorgestellten Variantenrechnungen die personelle Dimensionierung der Wiederversorgungsprozesse – auch unter Berücksichtigung monetärer Einflüsse durch eine Qualitätsregulierung – vorgenommen werden. Darüber hinaus können regulatorische Anforderungen an die Versorgungszuverlässigkeit im Hinblick auf ihre Wirksamkeit bzw. ihre Auswirkungen auf betriebliche Entscheidungen eines Netzbetreibers untersucht werden.



Christian Rückerl, Dr.-Ing.

Methoden zur Bewertung der Exposition durch gepulste Magnetfelder im Niederfrequenzbereich

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. K. F. Eichhorn – HTWK Leipzig

Magnetische Wechselfelder können gesundheitliche Wirkungen auf den Menschen haben oder technische Geräte beeinflussen. Aus diesem Grund wird die zulässige Feldexposition durch Richtlinien und Normen begrenzt. Die Berufsgenossenschaftliche Vereinigung (BGV) hat mit der BGV B11 (Elektromagnetische Felder, [1]) Regeln für die Expositionsbeurteilung von Arbeitsplätzen erlassen, die für Arbeitgeber bindend sind. Demnach müssen Unternehmer elektromagnetische Felder an Arbeitsplätzen messen und bewerten lassen. Das führt zu der Notwendigkeit, viele Messungen in einem großen räumlichen Bereich (z. B. Arbeitsplätze, Produktionsstätten) durchzuführen. Diese Katastermessungen sind sehr zeitaufwändig und führen zu großen Datenmengen. Bei einer Exposition durch gepulste Felder sind zudem andere Bewertungsverfahren anzuwenden als bei sinusförmigen periodischen Feldern einer Frequenz. Diese Bewertungsverfahren erfordern bislang ein vertieftes Hintergrundwissen. Einige Verfahren sind zudem nicht physiologisch begründet.

Ein Ziel der Arbeit bestand deshalb in der Ableitung eines einheitlichen Bewertungsverfahrens für gepulste und nicht gepulste Magnetfelder. Das eingeführte Verfahren ermöglicht die Bewertung gepulster Vorgänge ohne die Berücksichtigung einer Ersatzfrequenz, wie dies bei anderen Verfahren der Fall ist. Mit der Einführung des Feldhubs als Bewertungsgröße für kurze Pulsdauern kann die Bewertung gepulster Felder wesentlich vereinfacht werden, da dieser einfach aus dem Zeitverlauf bestimmt werden kann. Das Vorgehen zur Expositionsbeurteilung wird dadurch konsequent auf die Reizphysiologie zurückgeführt.

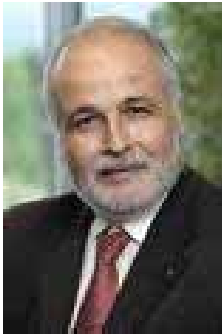
Mit der Ableitung von Methoden zur Analyse der Messdaten von dreidimensionalen Magnetfeldmessungen wurde ein weiteres Ziel verfolgt. Für die Bewertung der magnetischen Flussdichte ist eine Überführung der dreidimensionalen Messdaten in einen eindimensionalen Zeitverlauf vorzunehmen. Diese Transformation kann systematisch anhand der Eigenwerte und Eigenvektoren erfolgen. Bei einer räumlich stationären Feldquelle kann dies praktisch mit Hilfe einer Singulärwertzerlegung umgesetzt werden. Damit

kann auch, wie bei einer Faktorenanalyse, eine Überlagerung von Feldern (Faktoren) erkannt werden. Diese Möglichkeit kann für den Messenden beispielsweise bei der Beurteilung komplexer Expositionssituationen hilfreich sein.

In einem weiteren Abschnitt wurden die Möglichkeiten zur Trennung überlagerter Magnetfelder untersucht. Mit geeigneten Annahmen können überlagerte Magnetfelder getrennt und einzeln ausgewertet werden.

Die abgeleiteten Methoden ermöglichen insgesamt eine einheitliche und automatisierbare Bewertung magnetischer Wechselfelder.

- [1] BGV B11: Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“; Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, 2001



Konstantin O. Papailiou, Dr.-Ing. habil.

**Das mechanische Verhalten von Verbundisolatoren
für die elektrische Energietechnik**

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann – TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Gaul – Universität Stuttgart
Prof. Dr. sc. techn. Paolo Ermanni – ETH Zürich

Verbundisolatoren haben sich in der konservativen Branche der Elektroenergieversorgung dank ihrer technischen Vorteile zwischenzeitlich einen festen, nicht mehr wegzudenkenden Platz erobert. Dazu war es notwendig, neben dem elektrischen Verhalten auch das mechanische Verhalten dieser Isolatoren umfänglich zu untersuchen und zu beschreiben.

Eine zusammenfassende Darstellung dieses mechanischen Verhaltens fehlte bisher und wird durch die vorliegende Arbeit in erfreulicher Weise verwirklicht. Sie spiegelt Erfahrungen einer 35-jährigen ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiet der Hochspannungs-Verbundisolatoren für die Elektroenergietechnik wieder und stellt umfänglich wissenschaftlich-technische Erkenntnisse aus dem betrieblichen Umfeld eines Herstellers mit den internationalen Erfahrungen (CIGRÉ, IEC) von Herstellern, Errichtern und Betreibern von Elektroenergieanlagen komplex zusammen.

Aufbauend auf den Grundlagen zur Gestaltung, Bemessung und zur Werkstoffauswahl sowie den dafür erforderlichen Technologien werden in der Arbeit das statische und das dynamisch-mechanische Verhalten von Verbundisolatoren beim Einsatz in Hochspannungsfreileitungen als Abspann- und Tragisolatoren und Separatoren als Hohlisolator für Hochspannungsgeräte sowie für Bahnstrom- und Fahrleitungsanlagen behandelt. Dabei muss zum Beispiel der Druckbelastung von Verbundisolatoren, z. B. beim Einsatz als Isoliertraverse in Kompaktleitungen (Bild 1) eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden (Bilder 2 und 3), um Schädigungen am Isolator, die auch zum dielektrischen Versagen führen können, auszuschließen.

Eine zusammenhängende Darstellung zu Silikon-Verbundisolatoren ist zwischenzeitlich in [1] veröffentlicht.



Bild 1: Vergleich einer 380-kV-Hochspannungs-Freileitung klassischer Bauart (50 m breit, links), mit einer Kompaktleitung gleicher Übertragungsleistung (9,6 m breit, rechts), auf der noch der Seilzug zu erkennen ist
Foto: Pfisterer SEFAG

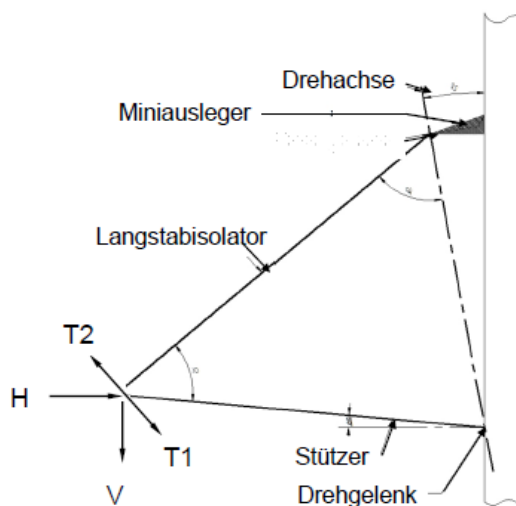


Bild 2: Prinzipieller Aufbau einer Isoliertraverse „gelenkiges“ Design

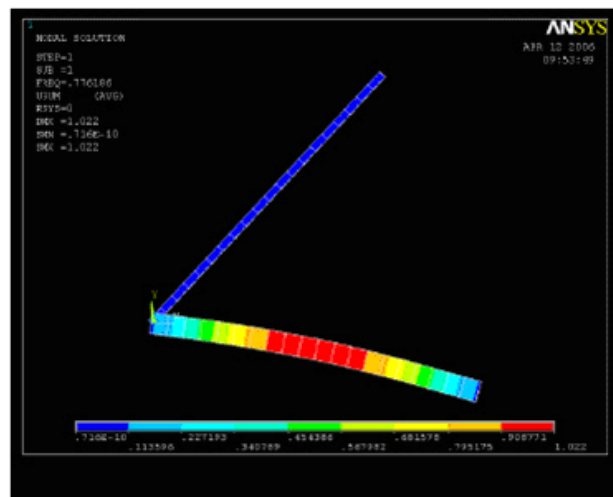


Bild 3: FEM-Simulation der Eulerschen Knickbelastung im Stützisolator

- [1] Papailiou, Konstantin O.; Schmuck, F.: Silikon-Verbundisolatoren, Werkstoffe, Dimensionierung, Anwendungen. Springer-Verlag 2011

Veranstaltungen

Highvolt-Preis 2011

Bereits zum vierten Mal hat in diesem Jahr die Firma HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH einen Preis für die beste Diplomarbeit an der TU Dresden auf dem Gebiet der Elektroenergietechnik gestiftet. Damit will HIGHVOLT den Nachwuchs hervorragender junger Wissenschaftler und Ingenieure auf diesem Gebiet fördern, der in der Industrie dringend benötigt wird. Der Preis wurde anlässlich des Tages der Fakultät öffentlich überreicht.

In diesem Jahr konnte der Entwicklungsleiter von HIGHVOLT, Herr Thomas Steiner, den Preis an Frau Dipl.-Ing. Maria Hering für ihre am IEEH entstandene, ausgezeichnete Diplomarbeit zum Thema: „Untersuchungen zur Messung des Verlustfaktors von isolierenden Seilen für das Arbeiten unter Spannung“ überreichen. Wir gratulieren Frau Hering recht herzlich.



(Foto: Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dresden)

Übergabe des HIGHVOLT-Preises zum Tag der Fakultät

Forschungsförderung durch den NH/HH-Recyclingverein e. V. und RIBE Elektroarmaturen

Dass man auch aus Schmelzsicherungen, die einmal geschaltet haben und somit durch neue zu ersetzen waren, noch Geld verdienen und dieses für zweckgebundene Forschung einsetzen kann, beweist der 1995 gegründete, gemeinnützige NH/HH-Recyclingverein e.V. Mit einem ausgeklügelten System werden von Energieversorgern, Industrie- und Handwerksunternehmen nicht mehr benötigte Sicherungen gebührenfrei gesammelt und abgeholt. In einer Aufbereitungsanlage werden alle Bestandteile der Sicherungen für eine Weiterverarbeitung vorbereitet und wertvolle Sekundärrohstoffe gewonnen. Mit dieser hervorragenden Idee werden die Nutzer von der Entsorgung entlastet, nicht mehr benötigte Teile von Energieversorgungsanlagen umweltgerecht und energetisch effizient aufgearbeitet und die Erlöse für die Forschung und Bildung eingesetzt.

In diesem Jahr vergab der NH/HH-Recyclingverein im Rahmen der Hannover Messe 2011 Schecks in Höhe von 20.000 bis 35.000 Euro an zehn führende deutsche Universitäten, Hochschulen und das Fraunhofer-Institut. Der NH/HH-Recyclingverein würdigte damit die Aktivitäten der Bildungs- und Forschungseinrichtungen im Bereich von Schmelzsicherungen und deren Komponenten. Die TU Dresden, Professur für Hochspannungs- und Hochstromtechnik, hat einen Preis in Höhe von 35.000 Euro für Forschungen zum Verhalten von Schmelzsicherungen bei höheren Temperaturen erhalten.

In einer Feierstunde wies Volker Seefeld, Vorstandsvorsitzender des NH/HH-Recyclingvereins, auf die positive Umweltbilanz des seit 16 Jahren etablierten Systems hin: Aus einer Tonne „Altsicherungen“ lassen sich rund 200 kg Kupfer und 2 kg Silber abtrennen. Gleichzeitig werden 100 Tonnen Roherz eingespart, die zur Gewinnung dieser Wertstoffe erforderlich wären. „Im Sinne der Ressourcenschonung sind das beachtliche Zahlen!“, ergänzte Seefeld. Allein im Jahr 2010 wurden insgesamt 249 Tonnen abgeschaltete NH- und HH-Sicherungseinsätze gesammelt und der umweltfreundlichen Wiederverwertung zugeführt.

Ein derartiges Vorgehen kann sicher auch an anderer Stelle sinnvoll nachgeahmt werden. Für weitere Interessenten, die ihre Sicherungen ebenfalls so kostenlos entsorgen und damit einen Beitrag zum Umweltschutz und gleichzeitig zur Forschungsförderung leisten wollen, steht der NH/HH-Recyclingverein e.V. (www.nh-hh-recycling.de) gern zur Verfügung. Die Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik bedankt sich beim NH/HH-Recyclingverein e.V. und allen Mitgliedsunternehmen.



*Übergabe des Schecks auf der Hannover-Messe
durch den Vorstand des NH/HH-Recyclingvereins*

Dieser Beitrag wird an unserer Professur mit verwendet, um Forschungen zum Langzeitverhalten von stromführenden Verbindungen unter besonderen klimatischen Bedingungen, wie zum Beispiel unter Wüstenklima und in Küstennähe in Ägypten, durchführen zu können. Mit der Firma RIBE Elektroarmaturen GmbH & Co. KG als weiteren Sponsor zu diesem Projekt können somit Vor-Ort-Experimente durch unsere Mitarbeiter Dipl.-Wi.-Ing Sebastian Dreier und Michael Gläser in Kooperation mit der Universität Ismailia und Port Said aufgebaut werden, die dort durch ehemalige Doktoranden unseres Instituts, Herr Prof. S. Dessouky und Herrn Dr. G. Moustafa begleitet werden.

Es soll damit ein wissenschaftlicher Beitrag geleistet werden, Elektroenergie auch in den Ländern der Erde in hohem Maße zuverlässig transportieren und verteilen zu können, die zukünftig für die Nutzung regenerativer Energien von großer Bedeutung sein werden. Allen Beteiligten sei für das Engagement gedankt.

Photovoltaik-Versuchseinrichtung am Zentrum für Energietechnik

Auf dem Dach des Mitte diesen Jahres eingeweihten Technikumneubaus zur Erweiterung und Zentralisierung des Zentrums für Energietechnik (ZET) wurde eine Versuchseinrichtung für Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Photovoltaik(PV)-Steckverbindern installiert. Die Versuchseinrichtung ist in eines der auf dem Dach vorhandenen PV-Systeme integriert und ermöglicht damit ein Belasten der PV-Steckverbinder mit den in mitteleuropäischen Breitengraden üblichen Umgebungsbedingungen sowie sonneneinstrahlungsabhängigen Stromprofilen. Die Versuchseinrichtung ist zwischen einem PV-Modulstrang und dem zugehörigen Wechselrichter geschaltet und kann für Mess- oder Wartungszwecke über einen Umschalter (Bypass) vom Stromkreis der PV-Anlage getrennt werden. Dieser Bypass sowie die notwendigen Klemmen für Potentialabgriffe und Stromeinspeisungen der einzelnen Messreihen sind in einem Schaltschrank untergebracht. Daneben sind die Messplatten mit den zu untersuchenden PV-Steckverbindern unter einem den Modulen nachempfundenen Regenschutz befestigt (Bild 1).

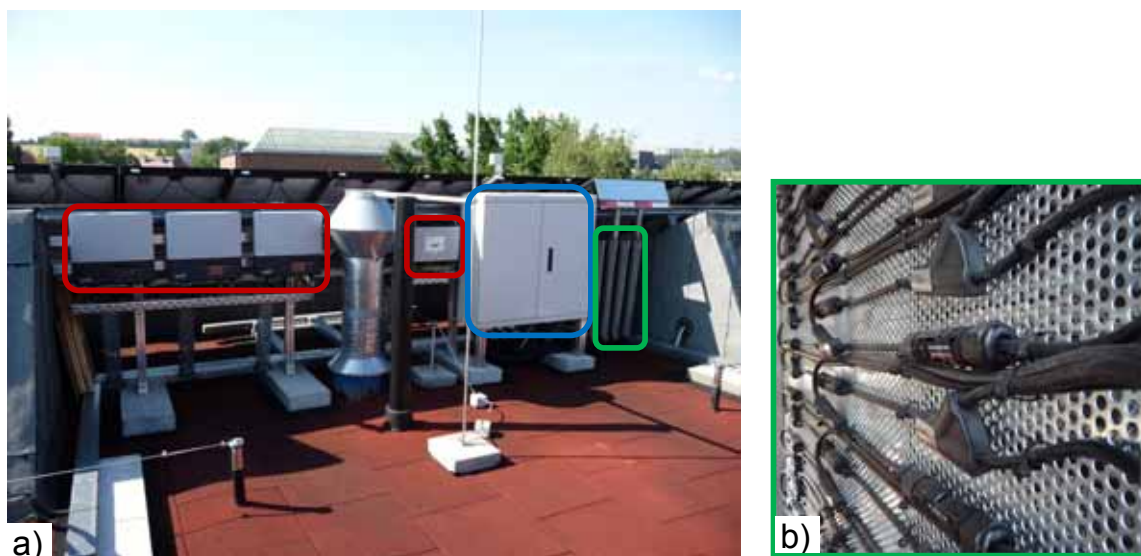


Bild 1: a) Übersicht Versuchsaufbau
 -- Wechselrichter
 -- Schaltschrank mit Bypass, Einspeise- und Messklemmen
 -- Messplatten mit den zu untersuchenden PV-Steckverbindern
 b) Einblick in Versuchsanordnung der PV-Steckverbinder

Untersucht werden PV-Steckverbinder verschiedener Hersteller, die, unter der Voraussetzung einer kompatiblen Geometrie, auch miteinander kombiniert wurden. Insgesamt sind derzeit 140 PV-Steckverbinder in die Versuchsanlage integriert, an denen die Verbindungswiderstände abhängig von der Zeit gemessen werden, um das Langzeitverhalten beurteilen zu können.

Studenten auf dem BDEW-Kongress 2011 am 28./29.06.2011 in Berlin

In diesem Jahr stand der BDEW-Kongress 2011 unter dem Motto: „Kurs auf 2050 - den Umbau gestalten“. Schwerpunkt der Vorträge und Podiumsdiskussionen war die Umsetzung des energiepolitischen Konzepts der Bundesregierung. Wie lassen sich die CO₂-Emissionen reduzieren, die Energieeffizienz verbessern sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien bewerkstelligen?

Die Initiative Studentenpatenschaften, eine Nachwuchsinitiative des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., ermöglichte insgesamt 92 Studierenden verschiedener Hochschulen die kostenfreie Teilnahme an den Vorträgen, Reden und Diskussionen des Kongresses. Hochkarätig mit Führungskräften aus Wirtschaft und Politik besetzt, konnten wir unter anderem den Wirtschaftsminister Philip Rösler und EU-Energiekommissar Günther Oettinger live erleben.

In Ausstellungsrundgängen wurden den Studierenden die interessanten Fachausstellungen, in denen Industrie und Dienstleister ihre Produkte präsentierten, vorgestellt. Abendveranstaltungen sowie Pausen gaben uns Studenten die Möglichkeit, mit Experten aus der Energie- und Wasserwirtschaft ins Gespräch zu kommen.

Anna Sörgel



*Bilder:
Begrüßung der
92 Studenten*



Exkursionen

Studentenexkursion zu einem Umspannwerk der DREWAG

Im Rahmen der Vorlesung Elektroanlagenprojektierung findet regelmäßig eine Exkursion in ein Umspannwerk der DREWAG statt. Die diesjährige Besichtigung fand am 02.02.2011 statt. Besichtigt wurde das 110-/20-kV-Umspannwerk Dresden-Gorbitz. 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.



*Dresdner Umspannwerk
(Quelle: DREWAG)*

Folgende weitere Exkursionen wurden durchgeführt:

- VDE-Exkursion zum 400-kV-Umspannwerk Röhrsdorf am 15.01.2011
- VDE-Exkursion zur Industriemesse nach Hannover am 06.04.2011
- VDE-Exkursionen Energietechnik nach Stuttgart vom 14.-17.06.2011 bzw. Rostock/Berlin vom 16.-17.06.2011
- 380-/110-kV-Umspannwerk Dresden-Süd der 50Hertz Transmission GmbH:
 - Besichtigung und Feldmessung im Rahmen der Vorlesung „Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung“ am 24.06.2011
 - Besichtigung im Rahmen der Vorlesung „Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure“ am 01.07.2011
 - Besichtigung im Rahmen der Vorlesung „Elektroenergietechnik“ für BA Bautzen am 26.08.2011
- Hauptschaltleitung der ENSO in Heidenau und 380-/110-kV-Umspannwerk Dresden-Süd der 50Hertz Transmission GmbH im Rahmen der Vorlesung „Schaltanlagen- und Netzleittechnik“ am 01.07.2011

Veranstaltungen

Schnupperstudium für einen Tag am 13.01.2011

Uni-Tag am 21.05.2011

Bei beiden Veranstaltungen können Schülerinnen und Schüler die Studiemöglichkeiten der TU Dresden kennenlernen. Beim Schnupperstudium können Schüler aus Gymnasien der Region für einen Tag am realen Lehrbetrieb teilnehmen. Beide Veranstaltungen erfreuten sich erneut großer Beteiligung und Beliebtheit.

„Power“-Grill am 11.05.2011

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

Weihnachtsfeier für Studenten am 12.12.2011

Mitte Dezember 2011 fand die diesjährige Weihnachtsfeier für Studierende des IEEH statt. In lockerer Runde wurden den Studierenden ein kurzer Rückblick über das Jahr 2011 am IEEH sowie ein Ausblick für das Jahr 2012 gegeben. Nach der Kurzdarstellung der Forschungsschwerpunkte des Instituts folgte ein Bericht von Herrn Dipl.-Ing. Matthias Klatt über eine Fahrradtour durch Skandinavien.

Gespräche über Forschungsthemen sowie Studiemöglichkeiten, z. B. auch im Ausland, waren für Mitarbeiter und Studierende des IEEH eine gute Gelegenheit, sich einmal in einem anderen Rahmen kennenzulernen.

12. "Dresdener Kreis" Elektroenergieversorgung 28./29.03.2011 in Hannover

Für den 28. und 29. März 2011 hat das Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik der Gottfried Wilhelm Leibnitz Universität Hannover zum 12. Treffen des Dresdener Kreises nach Hannover eingeladen.

Das Treffen wurde mit acht Vorträgen aus den aktuellen Forschungsgebieten der teilnehmenden Institute begonnen. Über die Vorträge wurden rege Diskussionen geführt, in denen der Vortragende seine Arbeit verteidigen musste. Im Anschluss hat Herr Dipl.-Ing. Peter Rasch der E.ON-Avacon AG einen Beitrag zum e-home Projekt gehalten. Dabei handelt es sich um einen Feldversuch, in dem das Stromnetz der Zukunft durch die Ausstattung ausgesuchter Wohngebiete mit Smartmetern, PV-Anlagen und stufbaren NS-Transformatoren untersucht werden soll.

Die Abendveranstaltung fand in der HBX-Stadtbrauerei statt. Nach einer kurzen Führung und einem Exkurs in die Kunst des Bierbrauens wurde beim Abendbrot weiter über aktuelle Themen der elektrischen Energieversorgung diskutiert.

Der Vormittag des zweiten Tages war ganz dem Hannoveraner Untergrund gewidmet. Hier wurden wir nach einer historischen Einführung zum Hauptbahnhof durch dessen Katakomben geführt. Unter anderem konnte eine nie über den Rohbau hinaus gekommene U-Bahn-Station besichtigt werden. Danach wurden wir von der energcity Netzgesellschaft mbH Hannover durch deren unterirdische Energieversorgungseinrichtungen geführt. Besonders beeindruckend war hier ein unterirdisches 110-kV-Umspannwerk direkt im Stadtzentrum. Bei einem ausgedehnten Mittagessen ließen wir das Treffen des Dresdener Kreises anschließend ausklingen.



Gruppenfoto der Teilnehmer

Lange Nacht der Wissenschaften am 01.07.2011

„Faszination Elektrizität - Experimentalvortrag zu hochspannungstechnischen Phänomenen und technischen Lösungen“, so der Titel der Veranstaltung, mit dem sich der Lehrstuhl auch in diesem Jahr wieder an der „Lange Nacht der Wissenschaft“ beteiligte. In fünf nacheinander stattfindenden Vorträgen hatten zahlreiche Besucher die Möglichkeit, sich von der Welt der Hochspannungstechnik verzaubern zu lassen. Neben spannenden allgemeinen Phänomenen wurden praktische Anwendungen vorgestellt. Zahlreiche Live-Experimente zu den einzelnen Schwerpunkten ließen keine Wünsche offen. Spannender Abschluss einer jeden Veranstaltung war der Blitzeinschlag in ein mit Personen besetztes Fahrzeug. Darüber hinaus wurde über die aktuelle Forschung und Projekte auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik informiert.



Zugang zur Halle über den geschmückten Treppenaufgang



Hochspannungshalle, vorbereitet für die Lange Nacht der Wissenschaften 2011



Überschlag an einem Stützer

Assistentenausflug der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik vom 27. - 29.05.2011 nach Woltersdorf an der Schleuse

Am Lehrstuhl für Hochspannungs- und Hochstromtechnik gibt es bereits seit vielen Jahren die schöne Tradition, an einem Sommerwochenende die Heimat eines wissenschaftlichen Mitarbeiters zu besuchen. Dazu waren auch in diesem Jahr zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls mit Begleitung nach Woltersdorf angereist.

Begonnen wurde am Freitag mit der Erkundung der näheren Umgebung. Ein Spaziergang führte zur „Liebesquelle“ und entlang des Ufers des Kalksees. Danach gab es im Hotel Kranichsberg an der Woltersdorfer Schleuse bei einem Grillbuffet die Gelegenheit, den Tag gemütlich ausklingen zu lassen.

Woltersdorf ist die kleinste Gemeinde Deutschlands mit einer eigenen Straßenbahn. Diese brachte uns am Samstagvormittag nach Rahnsdorf, von wo aus wir einen Stadtrundgang durch Erkner begannen. Anschließend ging es entlang des Flakensees zurück zur Uferpromenade von Woltersdorf.

Mit der Fähre ging es von dort nach Grünheide. Geselliges Beisammensein und der Charme des Müggelspree-Löcknitzer Wald- und Seengebiets machten Appetit auf das Mittagessen im Restaurant „Karma am See“. Zurück in Woltersdorf erklimmen wir den Aussichtsturm auf dem Kranichsberg, der aus einer Höhe von 105 Metern einen Ausblick über die Umgebung und bis weit nach Berlin hinein erlaubt.

Der Sonntag war wie geschaffen für eine Radtour an der Müggelspree. Sie führte uns über Alt Buchhorst und Kleinwall, entlang der malerischen Spreeauen nach Neu Zittau und zurück nach Woltersdorf. Mit dem gemeinsamen Mittagessen am Löcknitzkanal endete der Ausflug.



Woltersdorfer Schleuse



mit der Fähre nach Grünheide

19. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik 07. - 09.07.2011 in Darmstadt

Nach fünf Jahren Abstinenz kehrte der „Darmstädter Kreis“ wieder an seinen Ausgangspunkt zurück. Vom 07. - 09. Juli 2011 begrüßte der Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Darmstadt die Partnerinstitute aus Dresden, Ilmenau, München und Zittau/Görlitz.

In vielfältigen Fachvorträgen wurden die Forschungsschwerpunkte der teilnehmenden Institute behandelt. Dabei ging es neben dem Lichtbogen und dessen Löschung auch um Schaltgeräte und elektrische Anlagen, sowie um Isolierstoffe und elektrische Verbindungen.

Dabei bot sich den Teilnehmern die Möglichkeit ihre Ergebnisse vor einem interessierten Publikum vorzustellen und wissenschaftliche Diskussionen zu führen. Mit dem Besuch des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung konnten die Teilnehmer zudem einen Blick in das Forschungsgebiet der Teilchenphysik werfen. Außerdem wurden die Laboreinrichtungen der TU Darmstadt und deren Hochspannungshalle vorgestellt.



Rundgang GIS Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung



Rundgang Laborräume



Lichteffekte in der Hochspannungshalle

Industriepartner-Symposium am 06.10.2011

Im Rahmen des Industriepartner-Symposiums an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik wurde von der Elektrischen Energietechnik eine Vortragsreihe angeboten. Die Vorträge standen im Rahmen von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien.

Session 1 behandelte die Energieeffizienz. Vorträge aus der Fakultät Maschinenwesen zeigten die neuen Möglichkeiten am ZET (Zentrum für Energietechnik) zur Kooperation zwischen der elektrischen und der thermischen Energietechnik. Beendet wurde die Session mit einer Vision für zukünftige Verkehrsmittel. In Session 2 hielten Partner aus der Industrie Vorträge zu den Herausforderungen der Energiewende. Wissenschaftliche Mitarbeiter der Institute der Elektrischen Energietechnik beendeten die Vortragsreihe mit Arbeiten aus Ihren Forschungsgebieten. Der gelungene Tag wurde im „Italienischen Dörfchen“ in Dresden beendet.



Projekttag am 10.10.2011: Besuch Pumpspeicherwerk Niederwartha und Zschoner Mühle

Der diesjährige Projekttag des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik stand ganz im Zeichen des Wassers bzw. der Wasserkraft. Der Tag begann mit einem Besuch des Pumpspeicherwerks Niederwartha. In einem ausführlichen Vortrag erfuhren wir neben den üblichen technischen Angaben über die Anlage auch viel über die bewegte Geschichte des Werks. Die Eindrücke vom jüngsten Schicksalsschlag, dem Hochwasser 2002, waren dabei sehr ergreifend. Die abschließende Besichtigung des Maschinenhauses endete mit einer spannenden Ausführung zu den Methoden der Abdichtung der Halle im Revisionsfall.



Pumpspeicherwerk: am Staubecken

Foto: H. Bauer

Die anschließende Wanderung durch den Zschonergrund gestaltete sich aufgrund des anhaltenden Regens als eine Prüfung, die nur Professoren und einige ausgewählte Mitarbeiter bestehen konnten.

Nach einem deftigen Mittagessen in der Zschoner Mühle gab uns der Müller höchstpersönlich eine Einführung in die Geschichte des Mühlenwesens. Die Funktionsweise einer Wassermühle wurde uns sehr wortreich und anschaulich erklärt. Am Ende des Tages konnte jeder Teilnehmer zwischen ober-, mittel-, und unters-c-h-l-ä-c-h-t-i-g-e-m Wasserrad unterscheiden.



Pumpspeicherwerk:
Maschinenhaus

Foto: H. Knüpfel



An der Zschoner Mühle

Foto: H. Knüpfel

Absolvententreffen des Studienjahrganges 1955

Anlässlich der 50. Wiederkehr ihres Studienabschlusses trafen sich am 15. Juni 2011 fünfunddreißig der Absolventen des Studienjahrganges 1955 der Starkstromtechnik in Dresden; immerhin war das noch die Hälfte der damaligen Gruppe. In geselliger Runde wurden Erinnerungen an die Studienzeit in Dresden aber auch Erfahrungen der Berufsjahre und der Jahre nach der Wende 1990 ausgetauscht. Die Freude der Zusammenkunft war getrübt durch die traurige Botschaft, dass unser Kommilitone und Freund Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Böhme, ehemals Professor am Institut für Hochspannungstechnik, kurz vor unserem Treffen gestorben war.

Der jetzige Prodekan und Institutsdirektor des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann, hielt uns im traditionsreichen Hörsaal Görgesbau 226 einen Vortrag. Er stellte uns das Institut vor, berichtete über Studierende und Studieninhalte und wagte einen Blick in die Zukunft. Hier erwartet er insbesondere auf dem Gebiet der Energieerzeugung und Energieverteilung ganz neue Herausforderungen, nicht nur an Lehre und Forschung, sondern an die gesamte Gesellschaft. Anschließend führte uns die Kustodin Frau Maria Obenaus, die Schwiegertochter unseres verehrten Prof. Obenaus, durch die Altanagalerie im Görgesbau und brachte uns die dort ausgestellten Kunstwerke näher. Wir waren erfreut über die regen wissenschaftlichen und künstlerischen Aktivitäten am Institut und in der Fakultät und wünschen ihr auch weiterhin große Erfolge.

Dr.-Ing. Werner Prischmann und Peter Czerny



Absolventen des Studienjahrganges 1955 vor dem Görgesbau

Öffentlichkeitsarbeit

Neben den oben genannten Veranstaltungen fanden Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen für die TU Chemnitz, enso-Ausbildung, die Fachschule für Technik Bautzen sowie LTB Lichtenberg statt.

Experimentalvorträge wurden für Schüler von Gymnasien aus Meißen, Dresden und Umgebung, der Körperbehindertenschule Dresden sowie für Studenten der Fakultäten Elektrotechnik und Informationstechnik und Maschinenwesen der TU Dresden durchgeführt.

Weiterbildung

Dr.-Ing. Jan Meyer hielt 6 Vorträge beim Workshop „Power Quality Aspects of Modern Distribution Networks“ im Juli 2011 in Australien.

Dr.-Ing. Jan Meyer und Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler waren im September 2011 als Referenten im Rahmen des VDE-Seminars „Netzurückwirkungen in Theorie und Praxis“ in Dresden tätig.

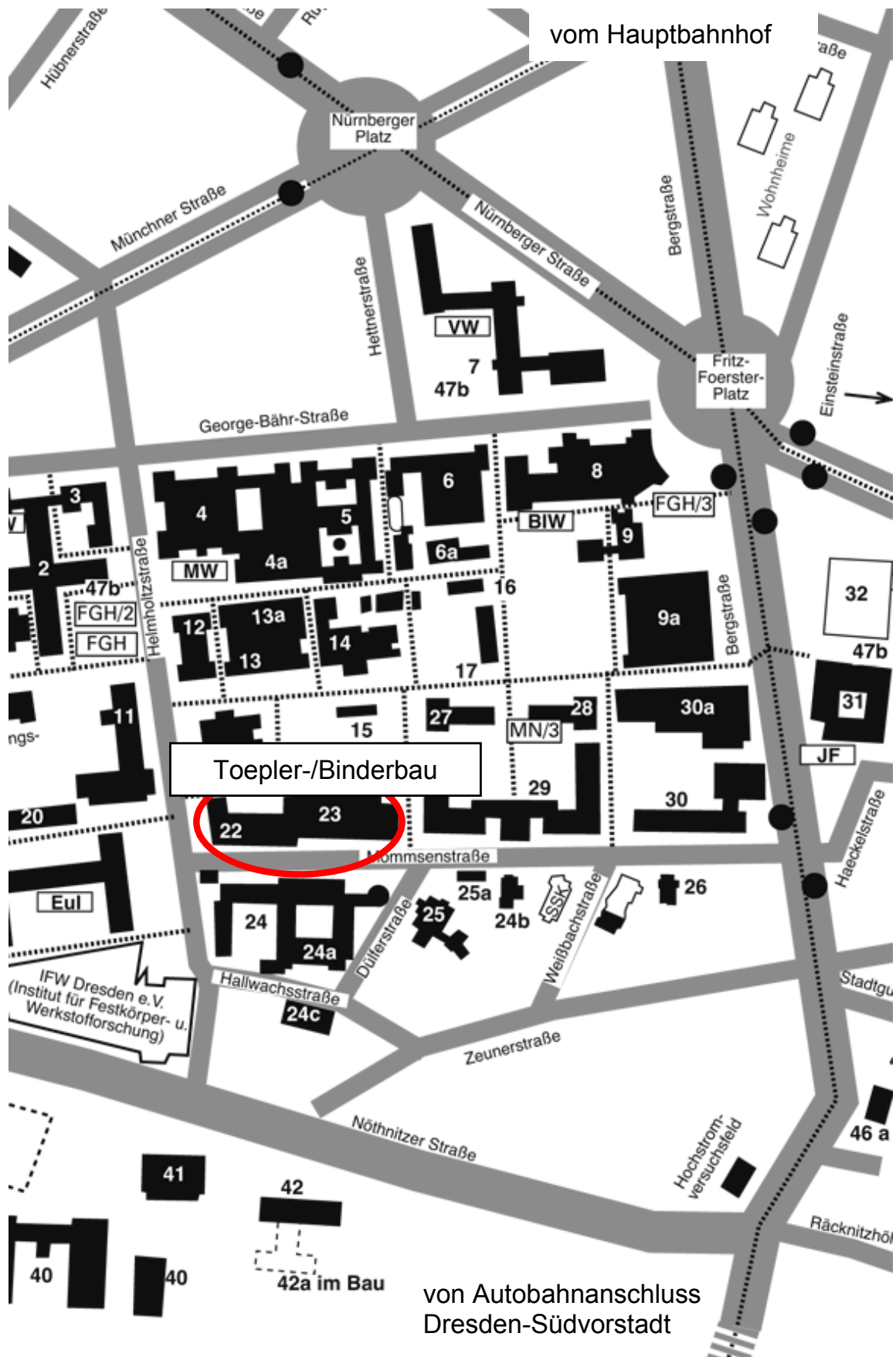
Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner und Dr.-Ing. Jan Meyer waren im November 2011 als Referenten im Rahmen des AGE-Seminars „Power Quality in Verteilungsnetzen“ in Dresden tätig.

Dr.-Ing. Joachim Speck war im Jahr 2011 im Rahmen des „Support Elektrotechnik – Hochstromtechnik – Hochspannungstechnik“ als Dozent für die AREVA Energietechnik GmbH in Regensburg tätig.

Dr.-Ing. Jan Meyer hielt im Jahr 2011 verschiedene Vorträge zum Thema „Power Quality“ an der Hochschule Mannheim, bei Österreichs Energie, bei der Fa. a.eberle Nürnberg und an der Universität in Adelaide/Australien.

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)

Das Kompetenzzentrum für Energietechnik der GWT-TUD GmbH bietet seinen Kunden operative Unterstützung und strategische Beratung in allen Fragen der Energietechnik. Dabei dient es Industriekunden als Erstanlaufstelle für eine systematische Zusammenarbeit mit Universitäten sowie außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Wir bieten Ihnen Unterstützung im Projektmanagement entlang der gesamten Wertschöpfungskette: von der Energieerzeugung über den Netzzugang bis zum Handel und Vertrieb.

In Kooperation mit exzellenten Wissenschaftlern erstrecken sich die Beratungsinhalte u.a. über folgendes Leistungsspektrum:

- Gutachten, modellgestützte Analysen und Marktmodelle zu den Energiemärkten
- Entwicklung technisch-wirtschaftliche Netzkonzepte
- Projektentwicklung für Erzeugungs- und Speicheranlagen
- Entwicklung innovativer Produkte in der Energietechnik
- Technische Optimierung von Betriebsabläufen
- Normgerechte Prüfungen und Messungen
- Management- und Strategieberatung

Ansprechpartnerin: Kathleen Mehnert
Telefon: +49 (0) 351 25933 128

Mail: kathleen.mehnert@gwtonline.de

