

Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik

Jahresbericht 2008

Inhalt

Personelle Besetzung	5
Lehre	11
Forschung	15
Dissertationen	61
Veranstaltungen	65
Anfahrtsskizze	77

Titelbild:

Test eines Demonstrators für den Schutz von mobilen Arbeitsmaschinen (Autobetonpumpe M42-5, Putzmeister) bei Arbeiten in der Nähe von Freileitungen auf Grundlage der Freileitungsidentifikation aus Messergebnissen der elektrischen Feldstärke während eines Scanvorgangs (vgl. auch Beitrag S. 20/21)

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,

hinter uns liegt wiederum ein Jahr kontinuierlicher Arbeit in Lehre und Forschung an unserem Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, über das wir Sie mit diesem Jahresbericht 2008 gern informieren möchten.

Die Forschung an unserem Institut konnte dank langfristiger und stabiler Beziehungen zu unseren Partnern in der Industrie und in der Energieversorgung weitergeführt und erfreulicherweise bei mehreren Projekten ausgebaut werden. Ein Forschungsprojekt wird von der AiF Berlin gefördert. Derzeit werden 15 von 18 Doktoranden über Drittmittel finanziert. Für das entgegengebrachte Vertrauen und die erfolgreiche Zusammenarbeit zum gegenseitigen Nutzen möchte ich mich bei unseren Partnern ausdrücklich ganz herzlich bedanken.

Im vergangenen Jahr haben gleich zwei unserer langjährigen wissenschaftlichen Mitarbeiter das Ende ihres offiziellen Berufslebens erreicht.

Herr Dozent Dr.-Ing. Hartmut Bauer konnte im März seinen 65. Geburtstag feiern. Er hat sich über Jahrzehnte sehr intensiv mit Fragen der Isolationskoordination, der Stationsleittechnik auf Grundlage IEC 61850, der elektrischen und magnetischen Felder in Elektroenergieanlagen sowie der Zuverlässigkeit und EMV wissenschaftlich auseinandergesetzt und mit großem Engagement die Lehre an der Professur Elektroenergieversorgung unterstützt. Als Studienrichtungsleiter für die Studienrichtung Elektroenergietechnik unserer Fakultät hat er der Profilierung der Lehre wichtige Impulse verliehen und sich stets für einen ausgewogenen Abgleich zwischen den Studienrichtungen und Professuren eingesetzt. Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer für die geleistete Arbeit und dafür, dass er die Professur Elektroenergieversorgung weiterhin unterstützt.

Herr Privatdozent Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl ist allen „Hochstromtechnikern“ im In- und Ausland vor allem durch seine vierzig Jahre währende unermüdliche und tiefgründige wissenschaftliche Arbeit zum thermischen Verhalten von Betriebsmitteln und Anlagen der Elektroenergietechnik bekannt. Damit verbanden sich bald die Fragen zur Alterung von elektrischen Verbindungen und die dazu notwendigen Langzeitversuche, die teilweise seit dreißig Jahren Messergebnisse liefern. Auch in schwierigen Zeiten hat er sich als Oberassistent an der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik unermüdlich für ein hohes wissenschaftliches Niveau in der Lehre, der Forschung und bei Untersuchungen für Industriepartner engagiert und dieses durchgesetzt. Die wissenschaftlichen Assistenten des Instituts und die technischen Mitarbeiter des Labors haben Dr. Löbl stets als hervorragenden und strengen Lehrer, zielstrebigem Wissenschaftler und als „Vater der Assistenten“ erlebt. Für die hervorragende Zusammenarbeit möchte ich Herrn PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl herzlich danken und wünsche ihm für den Ruhestand beste Gesundheit und alles Gute. Ich freue mich besonders über seine Zusage, uns auch in der kommenden Zeit weiterhin mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Das erleichtert die Übernahme seiner Aufgaben und der stark von ihm geprägten Traditionen im Institutsleben, in der Lehre und in der Forschung.

Unser neuer Laborleiter, Herr Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel, hat mit Beginn des Jahres 2008 die Leitung des Hochspannungs- und Hochstromlabors übernommen, sich erfreulich schnell und außerordentlich gründlich in die für ihn neuen Aufgaben eingearbeitet und den Kontakt zu unseren Forschungspartnern vertieft. Für den reibungslosen Übergang bei der Durchführung unserer Forschungsarbeiten im Labor danke ich Herrn Pampel, aber in besonderem Maße auch unseren Forschungspartnern.

Mit Freude können wir mitteilen, dass in diesem Jahr unser Hochstrom-Laboratorium vom VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstitut Offenbach für Erwärmungsversuche zertifiziert wurde.

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 2009 und freue mich auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.

Dresden, im Dezember 2008



Personelle Besetzung

Personelle Besetzung

Mitarbeiter

Wir freuen uns, dass Herr Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel zum 01.01.2008 seine Tätigkeit an unserem Institut aufgenommen hat. Er führt die Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Eberhard Engelmann weiter. Außerdem konnten wir vier neue wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begrüßen:

Herrn Dipl.-Ing. Nils Lücke	(ab 01.03.2008)
Herrn Dipl.-Ing. Stephan Schlegel	(ab 03.03.2008)
Herrn Dipl.-Ing. Karsten Krätzschar	(ab 01.10.2008)
Frau Dipl.-Ing. Melanie Conrad	(ab 01.12.2008)

Außerdem ist seit März 2008 Frau Waltraud Müller bei uns tätig.

An der Professur Elektroenergieversorgung weilten im Juni, November und Dezember 2008 Herr Prof. Rastko Zivanovic von der Universität Adelaide/ Australien zu einem Forschungsaufenthalt und Herr Prof. Tadeusz Lobos aus Polen im Rahmen einer Mercator-Gastprofessur.

An der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik war Herr Prof. Dessouky aus Ägypten zu Besuch.



*Das Team des Instituts für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik im November 2008*

Personelle Besetzung

	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
	Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer hartmut.bauer@tu-dresden.de	35104
	PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl loebl@ieeh.et.tu-dresden.de	32138
Professoren in Ruhestand	Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Eberhardt	
	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt	34574
	Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler	35088
Sekretariate	Regina Scharf scharf@ieeh.et.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 meyer@ieeh.et.tu-dresden.de	35102
	Dr.-Ing. Joachim Speck speck@ieeh.et.tu-dresden.de	33105
	Dipl.-Ing. Robert Adam adam@ieeh.et.tu-dresden.de	33080
	Dipl.-Ing. Ina Berg bis 31.08.2008	
	Dipl.-Ing. Falk Blumenroth blumenroth@ieeh.et.tu-dresden.de	34756

Personelle Besetzung

Dipl.-Ing. Melanie Conrad <u>conrad@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33608
Dipl.-Ing. Jörg Dickert <u>dickert@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	35272
Dipl.-Ing. Etienne Gasch <u>gasch@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32941
Dipl.-Ing. Christian Henze <u>henze@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	35353
Dipl.-Ing. Thomas Jordan <u>jordan@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34948
Dipl.-Ing. Karsten Krätzschar <u>kraetzschar@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33080
Dipl.-Ing. Nils Lücke <u>luecke@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32746
Dipl.-Ing. Jörg Meyer <u>meyerjoerg@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32941
MSc Ghareeb Moustafa <u>moustafa@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33608
Dipl.-Ing. Irina Ovsyanko <u>ovsyanko@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34789
Dipl.-Ing. Solaiman Rahmoon <u>rahmoon@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34948
Dipl.-Ing. Stephan Schlegel <u>schlegel@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	32746
Dipl.-Ing. Ronny Schneider <u>schneider@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	34756
Dipl.-Ing. Roberto Schulze <u>schulze@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	35353
Dipl.-Ing. Philipp Stachel <u>stachel@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	35272
Dipl.-Ing. Thomas Thronicker <u>thronicker@ieeh.et.tu-dresden.de</u>	33608

Personelle Besetzung

Technische Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres goeres@ieeh.et.tu-dresden.de	32613
	Dipl.-Ing. Günther Seidelmann (GWT) seidelmann@ieeh.et.tu-dresden.de	36004
	Waltraud Müller muellerW@ieeh.et.tu-dresden.de	33307
	Monika Markow bis 31.10.2008	
Werkstatt	Ralf Dittrich dittrich@ieeh.et.tu-dresden.de	34745
	Michael Gläser glaeser@ieeh.et.tu-dresden.de	34260
	Gerd Jarosczi jarosci@ieeh.et.tu-dresden.de	34745
	Helge Knüpfel knuepfel@ieeh.et.tu-dresden.de	34260
	Peter Wermuth wermuth@ieeh.et.tu-dresden.de	33516
Fax:	Prof. Elektroenergieversorgung	37036
	Prof. Hochspannungs- u. Hochstromtechnik	37157

Personelle Besetzung

Mitarbeit in Gremien

Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann

- Vorsitzender des Prüfungsausschusses der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- stellvertretender Vorsitzender des VDE-Bezirksverein Dresden
- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-BV Dresden

Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner

- Fachkollegiat der DFG
- persönliches Mitglied FGH, IEEE, VDE
- Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Mitglied des Konzils der TUD und des Fakultätsrates der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- EMTP-Usergroup
- Vorstand der Freunde und Förderer der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler

- Expertennetzwerk „Spannungsqualität“ des FNN Berlin im VDE
- AK „Netzurückwirkungen“ im VDE-Bezirksverein Dresden

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt

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

Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer

- K122 „Isolationskoordination“ der DKE und bis 20.06.08 AK 10 beim VDE-Bezirksverein Dresden
- VDE-Ausschuss „Sicherheits- und Unfallforschung“ (stv. Obmann)
- ETG-V2.3/ITG-FA5.5 „Schutz- und Automatisierungstechnik“
- AK 952.0.2 „IEC 61850 Prozessbus und Monitoring“ der DKE
- Leiter der Studienrichtung Elektroenergietechnik
- Mitglied Studienkommission Elektrotechnik
- persönliches Mitglied VDE, CIGRE, FGH Mannheim, Deutscher Hochschulverband und Forschungsverbund für Baumaschinen

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl

- UK 121.2 „Mechanische und thermische Kurzschlussfestigkeit“ der DKE

Dipl.-Ing. Thomas Jordan

- Fachausschuss V2.2 „Arbeiten unter Spannung“ der ETG im VDE

Dr.-Ing. Jan Meyer

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

Lehre

Lehre

Grundstudium

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

Hauptstudium

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

	Lehre	
Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
Hochspannungsgeräte PD Dr.-Ing. habil. Löbl	2 / 0 / 1	
Hochspannungs-Prüf- und Messtechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck		2 / 0 / 1
Blitzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann	1 / 1 / 0	
Statistik für Elektrotechniker Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	2 / 0 / 1	
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung Doz. Dr.-Ing. Bauer	1 / 1 / 0	

Lehrexport an andere Fakultäten – Grundstudium

Elektrotechnik 1 - für die Fakultäten Maschinenwesen Prof. Dr.-Ing. Großmann	2 / 2 / 0	
Elektrotechnik 2 - für die Fakultäten Maschinenwesen und Wirtschaftsingenieurwesen Prof. Dr.-Ing. Großmann		2 / 2 / 0

Lehrexport an andere Fakultäten – Hauptstudium

Elektrische und magnetische Felder in der Nähe von Elektroenergieanlagen Studium Generale und Dresdner Bürger-Universität Doz. Dr.-Ing. Bauer	1 / 0 / 1	
Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektro- energie Studium Generale und Dresdner Bürger-Universität Prof. Dr.-Ing. Schegner / Doz. Dr.-Ing. Bauer	2 / 0 / 0	
Elektrosicherheit und Versorgungszuverlässigkeit für Wirtschaftsingenieurwesen Doz. Dr.-Ing. Bauer	2 / 1 / 1	
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbil- denden Schulen Doz. Dr.-Ing. Bauer		2 / 1 / 1
Hochspannungstechnik für Wirtschafts- und Verkehrsingenieure Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	0 / 0 / 1	2 / 1 / 0

Forschung

- **Elektrische Energieversorgung** Seite 18
- **Hochspannungstechnik** Seite 41
- **Hochstromtechnik** Seite 51

Unsere Forschungspartner

ABB

AiF

Alcan Singen GmbH

AREVA

Betonbau GmbH und Co. KG

BSD Bildungs- und Servicezentrum GmbH

Cellpack GmbH

DREWAG Stadtwerke Dresden GmbH

EnBW Energie Baden-Württemberg AG

ENSO Energie Sachsen Ost AG

E.ON edis AG

E.ON Avacon AG

ESA Grimma

enviaM

NEXANS / GPH GmbH

HEINE Resistors GmbH

High-Volt Prüftechnik Dresden GmbH

Lanz Oensingen AG

LDIC Lemke Diagnostic

LTB Dresden

MS Stäubli Group

Multicontact

OMICRON

Partzsch Elektromotoren

PPC Insulators GmbH

Pronutec

RIBE Elektroarmaturen GmbH & Co KG

RIBE Subcon

Ritz Messwandler

Ruhrtal Hochspannungsgeräte GmbH

RWE

Scheidt GmbH & Co, KG

Siemens AG

Stadtwerke Oranienburg

SMT und Hybrid GmbH Dresden Weißig

ThyssenKrupp Aufzugswerke

Übigauer Schaltanlagen

Vattenfall Europe Transmission GmbH

VEM Sachsenwerk GmbH

VEM Motors

Elektrische Energieversorgung

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

▪ **Schutz- und Leittechnik**

Einfluss und Ursachen von nicht sinusförmigen Strom- und Spannungsverläufen auf das Schutzgeräte- und das Schutzsystemverhalten.

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

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

Schutz- und Stationsleittechnik auf Grundlage von IEC 61850.

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

▪ **Netzbetrieb**

Netzurückwirkungen durch den verstärkten Einsatz von FACTS und HVDC im europäischen Energiesystem.

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

Einfluss von HGÜ-Verbindungen auf die Stabilität von Drehstromübertragungsnetzen.

Netzausbauplanung unter veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

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

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

▪ **Elektrische und magnetische Felder**

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

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

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

▪ **Elektromagnetische Verträglichkeit**

Strom- und Spannungsbelastung von Erdungsschaltern in Hochspannungs-Schaltanlagen unter ausgewählten Betriebsbedingungen.

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

▪ **Elektroenergiequalität und Netzurückwirkungen**

Messgeräteunabhängiges Datenbanksystem zur zentralen Speicherung von Messdaten der Elektroenergiequalität.

Anwendung statistischer Methoden zur automatisierten und messortübergreifenden Bewertung der Spannungsqualität.

Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Mittelspannungs-Spannungswandlern.

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

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



Christian Henze, Dipl.-Ing.

Scanvorgänge der elektrischen Feldstärke mit der modifizierten E-Feldsonde an einer Drehstromtestleitung des IEEH

Zur Vermeidung von elektrischen Unfällen bei Bauarbeiten mit mobilen Arbeitsmaschinen in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen soll ein neuartiges Schutzkonzept entwickelt werden. Hierzu ist die Freileitung vor Beginn der Arbeiten durch einen Kollisionsraum zu beschreiben und eine Kollisionsraumüberwachung in der Arbeitsmaschine während der Bauarbeiten durchzuführen. Die Bestimmung des Kollisionsraums soll auf gemessenen Feldstärkeverläufen waagrecht unter und senkrecht neben der Freileitung basieren [1].

Nachdem die modifizierte E-Feldsonde bereits erfolgreich in der Hochspannungshalle getestet worden ist, wird deren Zusammenspiel mit dem Steuerrechner und einer Autobetonpumpe (Putzmeister M 42-5) untersucht. Hierfür ist das elektrische Feld der Versuchsleitung hinter der Hochspannungshalle des IEEH (Bild 1) zu messen, wobei die Koordinaten der E-Feldsonde von der Betonpumpe geliefert werden. Anschließend ist die Freileitung zu identifizieren, deren Kollisionsraum mathematisch zu beschreiben und die Kollisionsraumüberwachung zu testen.



Bild 1: Testanordnung

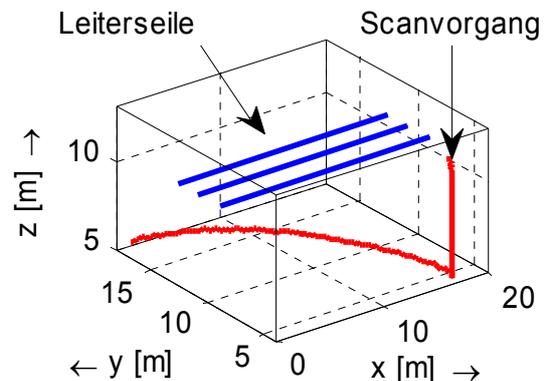


Bild 2: Vollständiger Scan, Messorte

Am Ausleger der Betonpumpe wird mit einem 3 m langen Isolierstab die E-Feldsonde befestigt (Bild 1), wobei der Abstand zwischen Sonde und metallenen Teilen der Arbeitsmaschine 2 m beträgt. Die Leitungsnachbildung besteht aus 2 Spannfeldern von je 32 m Länge. Die Freileitung ist eine Einebenenordnung mit ca. 1,8 m Leiterseilabstand. Eingespist wird ein Drehstromsystem der Spannungsebenen 20 kV und 38 kV mittels dreier

Prüftransformatoren. Aus den Winkeldaten des Auslegers der Betonpumpe wird im Steuerrechner der Messort berechnet (Bild 2) und dem Messwertesatz der E-Feldsonde zugeordnet. Anschließend werden sowohl die Messorte, als auch die Messwerte der E-Feldsonde ins Koordinatensystem der Freileitung transformiert.

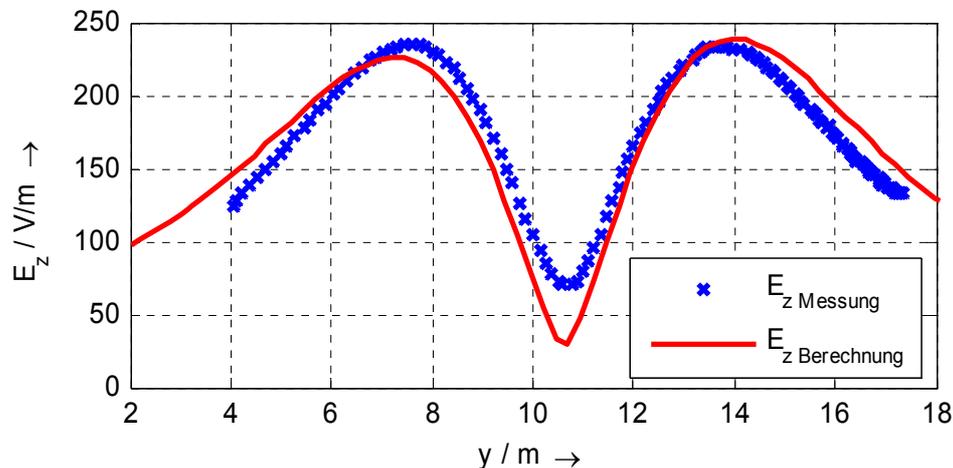


Bild 3: Darstellung von E_z beim Scanvorgang waagrecht unter der 20-kV-Leitung in 5,6 m Höhe

Aufgrund des eingeschränkten Platzangebots wird der horizontale Scan als Schwenk ausgeführt (Bild 2). Der Vergleich der Messungen mit den Berechnungen zeigt, dass die Feldmessung mit einer E-Feldsonde an einer Betonpumpe mit der gewählten Isolierstablänge nahezu unbeeinflusst möglich ist (Bild 3). Weiterhin kann die Koordinatentransformation der Messorte und die Umrechnung der Feldstärkewerte ins Koordinatensystem der Freileitung erfolgreich durchgeführt werden. Die Rückrechnung auf die elektrischen und geometrischen Parameter der Freileitung und somit die mathematische Beschreibung des zweistufigen Kollisionsraums erfolgt im Test auf Grundlage der empirischen Methode. Die Konvergenz der analytischen Methode ist bei den Tests durch die kurze Leitungslänge (mathematisches Modell basiert auf unendlich langen Leiterseilen) und durch die relativ ungenaue Bestimmung der Messorte ($\pm 0,3$ m Abweichung bei $< 0,1$ m/s Scangeschwindigkeit) eingeschränkt. Die anschließende Kollisionsraumüberwachung funktioniert erwartungsgemäß.

Im Rahmen der FvB Arbeitskreissitzung „Hochspannungsschutz“ am 25.09.2008 wurde die Funktionsfähigkeit des erarbeiteten Schutzkonzeptes nachgewiesen. Für die weitere Arbeit liegt der Schwerpunkt auf dem Optimieren der analytischen Rückrechnung.

[1] Jahresbericht 2007, TU Dresden, IEEH



Jörg Dickert, Dipl.-Ing.

Bewertung der Zusatzkosten für Energieversorgungsnetze durch Lastrückgang

Bei der Netzplanung spielt die Prognose der Lastentwicklung eine wichtige Rolle. Besonders nach der Wiedervereinigung ist man von einem starken Lastanstieg in den neuen Bundesländern ausgegangen. Zudem erfolgte für die Stärkung der Infrastruktur der Ausbau von Gewerbegebieten.

Der erwartete Lastanstieg ist jedoch besonders im ländlichen Raum durch Bevölkerungsrückgang nicht eingetreten und auf einer Vielzahl von erschlossenen Gewerbegebieten fand keine Ansiedlung statt. Die dadurch entstandenen Kosten werden als „Stranded Costs“ bezeichnet und umfassen Kosten, die im Vertrauen auf langfristige Nutzung getätigt wurden und sich unter Marktbedingungen nicht mehr rechnen.

Um diese Sondereffekte bewerten zu können, kann eine Referenznetzanalyse an einem exemplarischen Niederspannungsnetz erfolgen, wobei die Siedlungsbedingungen und Gewerbegebiete im Vorfeld genau analysiert werden müssen.

Zur Quantifizierung der Sondereffekte entstand die Planung von zwei Referenznetzen mit unterschiedlichen Lastannahmen:

1. Ausgehend vom Lastzustand von 1990 wurde ein Netz mit dem zu diesem Zeitpunkt erwarteten Lastanstieg geplant und mit
2. einem Netz verglichen, welches mit den Lasten für das Jahr 2007 ausgelegt wurde.

Aus Grundsatzuntersuchungen übernahm man die Vorzugswerte für Transformatoren, Netzstationsgröße, Leiterquerschnitte, etc. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden für die Planung nur Kabel verwendet. Dadurch reduzierten sich die verbleibenden Freiheitsgrade des Netzentwurfes und damit die Inhalte der Optimierung auf folgende Faktoren:

- Trassenwahl und Kabellegung,
- Anzahl, Größe und Lage der Einspeisungen und
- Teilnetzbildung.

Übereinstimmend mit der primären Maßgabe kostenoptimal zu planen, bezieht sich die Zielfunktion ausschließlich auf die Wirtschaftlichkeit, d. h. Minimierung der Gesamtkosten. Als Bestandteil der monetären Zielfunktion werden Investitionskosten, Betriebskosten und Verlustkosten auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme bezogen (Barwertmethode).

Bei der Netzplanung sind die Optimierungsvariablen sowohl kontinuierlicher als auch diskreter Struktur. Zu den diskreten Variablen zählt z. B. die Stationsanzahl und zu den kontinuierlichen Variablen der Leiterstrom.

Die Optimierung erfolgt in den Schritten:

1. Stationsplatzierung
2. Trennstellenlegung
3. Leitungsausbau
4. Dimensionierung der Stationstransformatoren

Hinsichtlich der ersten beiden Teilprobleme ist die starke gegenseitige Beeinflussung zu beachten: Der optimale Stationsstandort eines Teilnetzes leitet sich aus dessen Gestalt, d. h. aus der Lage und Größe der im zugehörigen Versorgungsgebiet platzierten Lasten ab. Die Zergliederung des Gesamtnetzes in einzelne Teilnetze ist jedoch Ergebnis der Trennstellenlegung, welche sich wiederum aus den Stationsstandorten und den resultierenden Lastflussverhältnissen ergibt. Kurzum: Ändert sich die Lage der Einspeisungen, so ändert sich auch die Position der Trennstellen und umgekehrt. Darin liegt die Begründung des wechselseitigen Optimierens beider Freiheitsgrade.

Die monetäre Gegenüberstellung beider Netze für das Versorgungsgebiet offenbart einen aus heutiger Sicht wirtschaftlich nicht effizienten Anteil, der aber aufgrund der in der Vergangenheit vorgegebenen Randbedingungen dennoch aus optimalen Planungen hervorgeht.

Die mit Hilfe der beschriebenen Methodik quantifizierten Kosten der sogenannten „Stranded Investments“ sollten vom Versorger als nicht beeinflussbarer und damit nicht reduzierbarer Kostenanteil geltend gemacht werden können. Dieser Betrag kann in Abhängigkeit der Größe des untersuchten Versorgungsgebietes schwanken. So kann zum Beispiel mit einer größeren Anzahl an diskreten Zustandswerten für die Freiheitsgrade Lage und Anzahl von Einspeisepunkten die Netzauslegung höhere historisch bedingte Kosten zum Ergebnis haben. Auch die Annahme optimistischerer Lastprognosen, so wie zu Wendezeiten getätigt, sollte den Effekt verstärken.



Etienne Gasch, Dipl.-Ing.

Konzeption einer Datenbankschnittstelle zur geräte-unabhängigen Speicherung von Spannungsqualitätsmessdaten

Hersteller von Spannungsqualitätsmessgeräten nutzen herstellerspezifische Software für die Auswertung der Messdaten. Damit ist im Allgemeinen auch eine proprietäre Speicherung der Daten verbunden. Die Speicherung erfolgt entweder in Dateien mit einem nicht standardisierten Format oder in einer herstellereigenen Datenbank. Die herstellerspezifische Auswertesoftware kann nur die eigenen Daten lesen und diese auswerten. Eine Auswertung von Messdaten anderer Messgerätehersteller ist mit dieser Auswertesoftware in der Regel nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand möglich.

Für eine dauerhafte Messung der Spannungsqualität werden praktisch immer Geräte unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz kommen. Dementsprechend werden zur Auswertung aller Messdaten in Abhängigkeit der Anzahl verschiedener Gerätetypen mehrere verschiedene Auswerteprogramme benötigt. Eine messgeräteunabhängige und damit messortübergreifende Auswertung der Spannungsqualität ist praktisch nicht möglich.

Deshalb besteht die Notwendigkeit, eine einheitliche Schnittstelle für Spannungsqualitätsmessdaten zu entwickeln. Eine solche Schnittstelle kann in verschiedenen Varianten realisiert werden.

- a. einheitliches Datenaustauschformat in einer Datei
Definition eines Datenformates notwendig
- b. einheitliches Protokoll im Messgerät
Definition und Implementierung des Protokolls im Messgerät notwendig
- c. einheitliche Datenbank bzw. Datenbankschnittstelle
Definition der Datenbankschnittstelle notwendig

Variante (a) wurde bereits mehrfach realisiert. Als Beispiel sei PQDIF (IEEE std. 1159.3-2002) genannt. Weitere Datenformate bauen u. a. auf dem XML-Standard auf. Diese Formate sind lediglich Austauschformate, die nicht zur dauerhaften Speicherung der Messdaten geeignet sind. Die Messgerätesoftware eines Herstellers kann Messdaten in ein einheitliches Austauschformat exportieren. Die Auswertesoftware eines anderen Herstellers importiert anschließend diese Messdaten. Diese Vorgehensweise ist in der Regel nur manuell möglich und führt bei großen Datenmengen zu erheblichem Zeitaufwand. Variante (b) führt zu besonders hohen Aufwendungen bei der Entwicklung der Geräte und ist für bestehende Systeme nur schwer realisierbar.

Zur Speicherung einer großen Menge an Spannungsqualitätsmessdaten werden von verschiedenen Messgeräteherstellern bereits Datenbanken eingesetzt. Diese Datenbanken haben alle eine proprietäre Tabellenstruktur, welche von den Herstellern nicht ohne weiteres geändert werden kann. Deshalb wurde am Institut eine standardisierte Datenbankschnittstelle (Variante (c)) entwickelt (Bild 1).

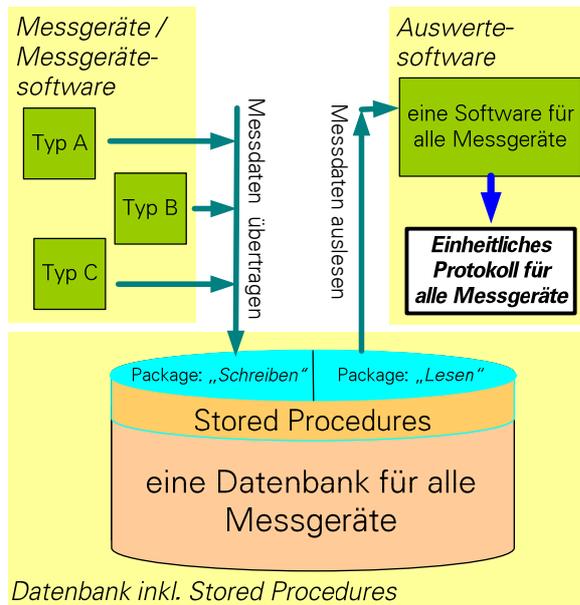


Bild 1: Aufbau der Datenbankschnittstelle

Die Schnittstelle basiert auf sogenannten Stored Procedures, welche in den gängigen Datenbankbetriebssystemen verfügbar sind. Stored Procedures sind Funktionen innerhalb der Datenbank. Sie stellen mit ihrer definierten Parameterliste die Schnittstelle zwischen externen Programmen und den internen Datentabellen dar.

Die Messgeräte- bzw. Datenübernahmesoftware ruft diese Funktionen in der Datenbank auf und übergibt in den Parametern der Funktion die Messdaten. Die Auswertesoftware greift in analoger Weise auf die Datenbank zu und kann gespeicherte Messdaten auslesen.

Die Funktionen gewährleisten eine hohe Flexibilität in der Tabellenstruktur bei einem einheitlichen Zugriff auf die Datenbank für Lese- und Schreibvorgänge. Ein wichtiger Vorteil der standardisierten Schnittstelle ist die Möglichkeit der einfachen Implementierung für bereits bestehende Datenbanken mit herstellereigener Tabellenstruktur. Der Hersteller kann seine Datenbank nach wie vor auf herkömmlichem Weg nutzen und muss keine Modifikationen an seiner Auswertesoftware vornehmen. Mit den Stored Procedures bietet er darüber hinaus anderen Herstellern lesenden und schreibenden Zugriff auf seine Datenbank. Die Bewertung der Spannungsqualität wird für den Anwender (Netzbetreiber) wesentlich einfacher und effizienter. Vorteile sind:

- zentrale Datenbank für alle Messdaten des Anwenders
- Zugriff der Auswertesoftware auf alle Messdaten
- vergleichbares, übersichtliches Protokoll für alle Messorte



Jan Meyer, Dr.-Ing.

Verfahren zur quantitativen Bewertung von Lang- und Kurzzeitschwankungen der Spannungsqualität

Die Norm DIN EN 50160 beschreibt Merkmale der Spannungsqualität (Qualitätskenngrößen), die ein Kunde an der Übergabestelle vom Netzbetreiber erwarten kann. Es wird zwischen verlaufsorientierten Kenngrößen (z. B. Harmonische, Unsymmetrie, Flicker) und ereignisorientierten Kenngrößen (z. B. Spannungseinbruch, Unterbrechung, zeitweilige Überspannung) unterschieden. Für die meisten verlaufsorientierten Kenngrößen muss die Auswertung der 10-Minuten-Mittelwerte über einen Mindestbeobachtungszeitraum von 1 Woche erfolgen. Das 95-%-Quantil aller Werte des Beobachtungszeitraumes wird mit dem in der Norm vorgegebenen Wert verglichen.

In den letzten Jahren ist die Anzahl dauerhaft installierter Geräte zur Überwachung der Spannungsqualität, deren Beobachtungszeitraum mit mehreren Monaten bis Jahren deutlich mehr als 1 Woche beträgt, kontinuierlich gestiegen. Bild 1 zeigt beispielhaft die kumulativen Häufigkeitsverteilungen der 5. Spannungsharmonischen für 12 Wochen (blau). Die wochenweise ermittelten 95-%-Quantile weisen eine Schwankung von über 10 % auf. Die Ursachen für solche Schwankungen lassen sich wie folgt klassifizieren:

- kurzfristige Schwankungen (Tage bis Wochen)
 - stochastisches Verhalten der Abnehmer
- mittelfristige Schwankungen (Monate)
 - saisonale Einflüsse
- langfristige Schwankungen (Jahre)
 - langsame globale Veränderungen (z. B. Übergang zu Energiesparlampen, zunehmender Einsatz von verteilter Erzeugung – Smart Grids)

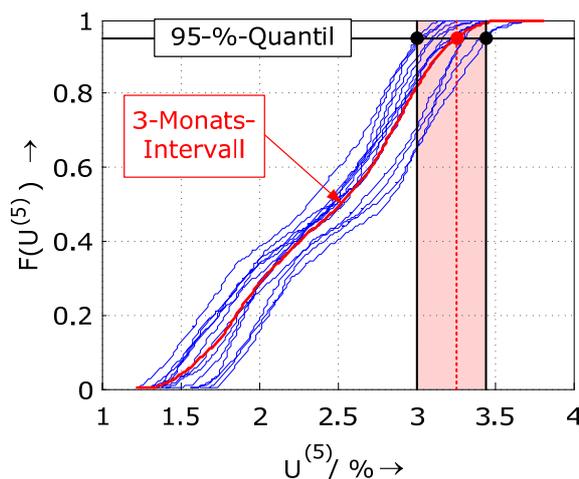


Bild 1: Häufigkeitsverteilungen der 5. Spannungsharmonischen für 12 aufeinanderfolgende Wochen

Insbesondere für interne Planungszwecke ist bspw. die Auswertung des 95-%-Quantils über den gesamten Beobachtungszeitraum (rot hervorgehoben in Bild 1) unsicher, da es von den wochenweise berechneten 95-%-Quantilen teilweise überschritten wird.

Um eine zuverlässige Abschätzung für das 95-%-Quantil zu erreichen stellt sich im Sinne der mathematischen Statistik die Aufgabe, einen oberen Wert zu bestimmen, welcher von einem bestimmten prozentualen Anteil p der wochenweise berechneten 95-%-Quantile nur mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit $(1-\alpha)$ überschritten wird. Dies entspricht der Berechnung einer oberen Toleranzgrenze gemäß

$$Q_{[95]\text{lim}} = \underbrace{\bar{Q}_{[95]}}_{\text{Term A}} + \underbrace{g_{(1-\alpha;p;N)}}_{\text{Term B}} \cdot \underbrace{\sqrt{\text{var}(Q_{[95]})}}_{\text{Term C}} \quad (1)$$

Neben Mittelwert (Term A) und Varianz (Term C) der Stichprobe aller wochenweise berechneten 95-%-Quantile ist ein Tabellenwert (Term B) erforderlich, der von Stichprobenanteil p , Stichprobenumfang N und Irrtumswahrscheinlichkeit α abhängt. Die Werte für p und α können vom Netzbetreiber gewählt werden und sind ein direktes Maß für die statistische Sicherheit, welche für die obere Toleranzgrenze angestrebt wird. Sinnvolle Wertebereiche sind $p = 90 \% \dots 99 \%$ und $\alpha = 1 \% \dots 10 \%$. Das Wertepaar $[p; \alpha] = [90 \%; 10 \%]$ entspricht bspw. einer niedrigen statistischen Sicherheit.

Bild 2 zeigt die berechneten oberen Toleranzgrenzen (rote Kurven) für die zwei Extremfälle hoher (1) bzw. niedriger (2) statistischer Sicherheit. In beiden Fällen liegen die 95-%-Quantile oberhalb des höchsten gemessenen 95-%-Quantils einer Woche und stellen damit eine wesentlich zuverlässigere Abschätzung dar, als sie bspw. durch Anwendung des 95-%-Quantils für den gesamten Beobachtungszeitraum gegeben ist.

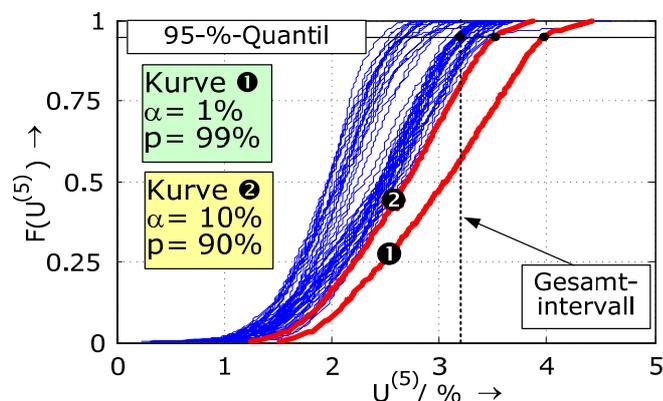


Bild 2: Häufigkeitsverteilungen der 5. Spannungsharmonischen für 47 aufeinanderfolgende Wochen

Für interne Planungsaufgaben, aber auch für den Vergleich mit Normen wie DIN EN 50160 wird nun die berechnete obere Toleranzgrenze verwendet. Dadurch wird der zusätzliche Informationsgehalt von Langzeitmessungen über das Schwankungsverhalten der betrachteten Qualitätskenngröße am Messort berücksichtigt. Unsicherheiten bei Art und Weise der Bewertung verlauforientierter Kenngrößen im Hinblick auf netzbetreiberinterne Auswertungen aber auch auf die Einhaltung gültiger Normen werden beseitigt.



Jörg Meyer, Dipl.-Ing.

Modellierung der Strom- und Spannungsverläufe von Störlichtbögen

1. Motivation

Für die Verifikation von komplexen Distanzschutzalgorithmen für den Einsatz im Niederspannungsnetz wurde ein Modell zur Berechnung von Strom- und Spannungsverläufen des Niederspannungsstörlichtbogens erarbeitet.

2. Phänomenologisches Modell des Niederspannungsstörlichtbogens

Grundlage der Entwicklung des Simulationsmodells für das Verhalten des Niederspannungsstörlichtbogens waren aufgezeichnete Strom- und Spannungsverläufe von Störlichtbogenversuchen. Der Lichtbogen selbst wurde durch eine konstante, mit dem Strom vorzeichengleiche, Gleichspannungsquelle nachgebildet. Die 3 Spannungsquellen wurden dabei im Stern geschaltet. Die Vorgabe verschieden großer Brennspannungen dient der Nachbildung verschiedener Lichtbogenlängen, da auch bei diesem Modell von einem konstanten Lichtbogenspannungsbedarf ausgegangen wird. Die implementierten Funktionen gestatten die Simulation beliebiger Fehlerarten wobei durch Wahl des Sternpunktschalters Lichtbogenfehler gegen geerdete Teile simuliert werden können. Die Berücksichtigung einer komplexen Impedanz zwischen Messstelle und Brennstelle des Störlichtbogens, was den realen Bedingungen entspricht, führte zu einer weiteren Verbesserung des Simulationsmodells.

Die zusätzliche Messung und Verarbeitung der Spannungen an der Brennstelle ermöglicht die Simulation von lückenden Stromverläufen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Lichtbogen bei jedem Stromnulldurchgang zunächst verlöscht und bei ausreichend hoher Spannung über der Brennstelle wieder neu zündet. Der bei vielen Messungen beobachtete lückende Stromverlauf bei vor allem stark ohmschen Versuchsnetzen konnte damit gut nachgebildet werden.

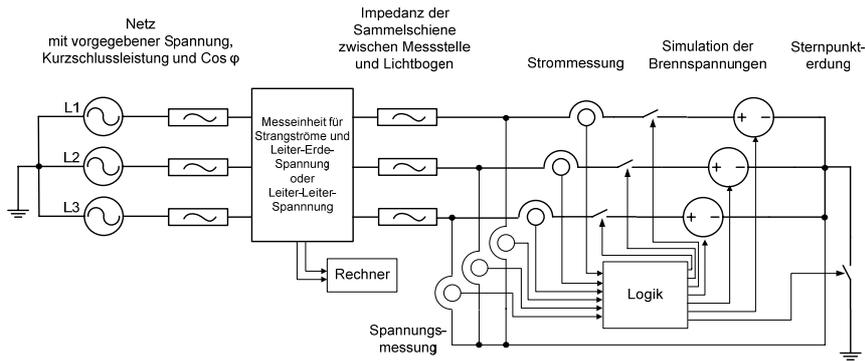


Bild 1: Simulationsmodell für den Niederspannungsstörlichtbogen

3. Vergleich der gemessenen und simulierten Strom- und Spannungsverläufe

In Bild 2 sind vergleichend die gemessenen (Index m) und simulierten (Index s) Zeitverläufe der Störlichtbogenspannungen und -ströme dargestellt. Der stochastische Rauschanteil im simulierten Spannungsverlauf wurde für die systematische Untersuchung bewusst vernachlässigt.

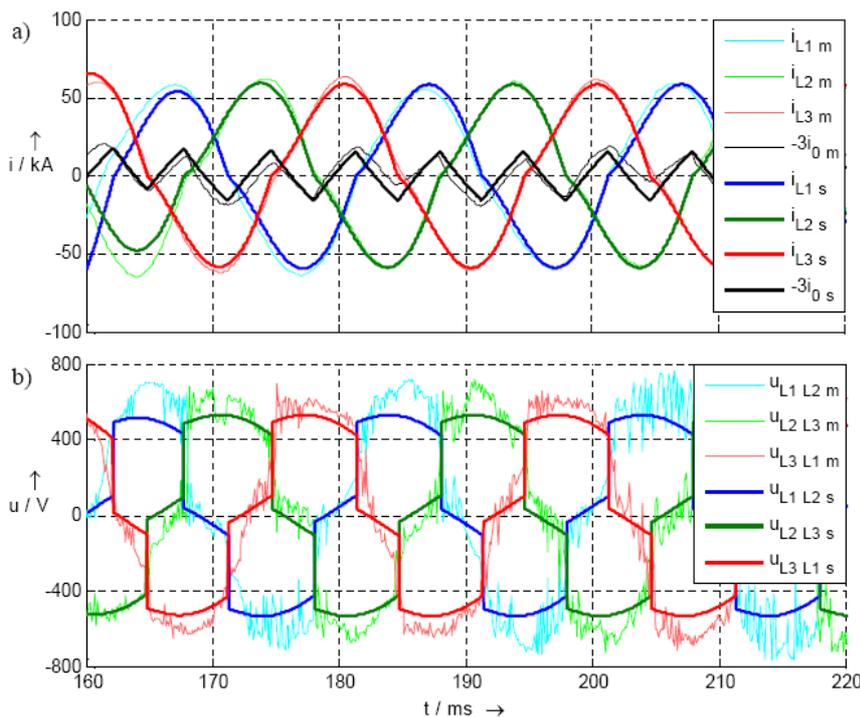


Bild 2: gemessene und simulierte Zeitverläufe von
a) Strom; b) Spannung

Die mit diesem Simulationsmodell berechneten Strom- und Spannungsverläufe zeigen eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Verläufen.



Roberto Schulze, Dipl.-Ing.

Grundlagen der Identifikation von Parametern unsymmetrischer Leitungen

Der Schutz von Übertragungsleitungen erfolgt heute durch digitale Schutzgeräte. Während eines Ereignisses werden die Messgrößen und interne Systemzustände von diesen Geräten aufgezeichnet. Sie dienen in Offline-Auswertungen zur Überprüfung der Schutzgerätekfunktion, der Bestimmung der Fehlerart sowie des Fehlerortes. Für die Bestimmung des Fehlerortes müssen die Parameter der Leitung möglichst genau bekannt sein. Aufgrund technischer Beschränkungen ist es nicht immer möglich, die Freileitung vollständig zu verdrillen, so dass die Freileitung unsymmetrisch ist. Bisher dienen Modelle, die von einer Symmetrie ausgehen, zur Fehlerortung. Die ungenaue Modellierung führt entsprechend auch zu einer Unschärfe im ermittelten Fehlerort. Des Weiteren nutzt man die Leitungsmodelle zur Berechnung von Einkopplungen, um z. B. die Löscheigenschaften beim automatischen Wiedereinschalten zu untersuchen. Die Ungenauigkeiten werden verkleinert, wenn die Unsymmetrien des Betriebsmittels ebenfalls modelliert werden.

Bei der Modellbildung gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Entweder man betrachtet ein System mit verteilten Parametern (Leitungsbeläge) oder man beschränkt sich auf ein Modell mit konzentrierten Parametern, was je nach Lastzustand ein Impedanz- oder Admittanzmodell (Bild 1) darstellt.

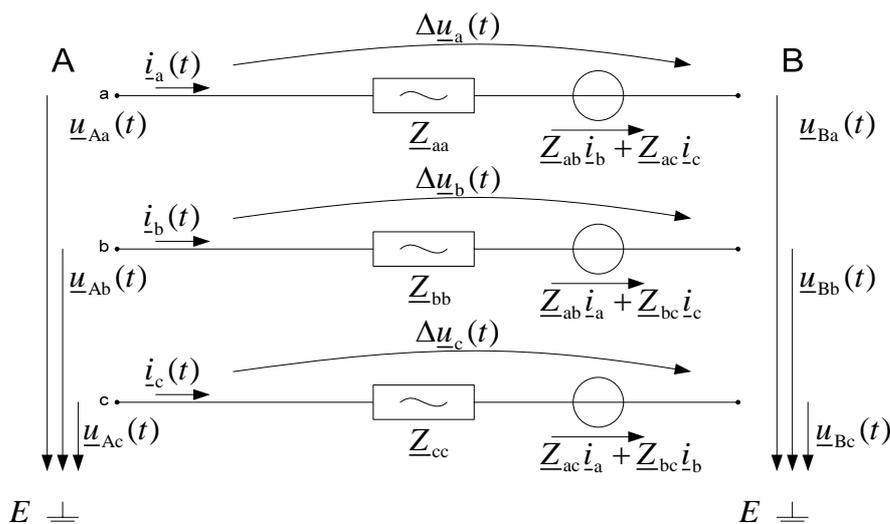


Bild 1: Modell mit unsymmetrischen Selbst- und Koppelimpedanzen

Das System mit verteilten Parametern führt auf ein partielles Differentialgleichungssystem, welches bisher noch nicht allgemein gelöst wurde. Mit dem Impedanzmodell lässt sich die Leitung bei Belastung gut beschreiben. Somit eignet es sich auch für die Fehlerortung. Wie in Bild 1 zu erkennen ist, sind alle auftretenden Signale komplex. D. h., aus den reellen Messgrößen müssen mittels einer Demodulationstechnik zeitveränderliche Zeiger konstruiert werden. Mit Einführung dieser Zeiger ist auch die exakte Beschreibung von Schaltvorgängen (Fehlerereignisse) möglich.

Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Identifikation der Parameter nur bei einer speziellen Anregung des Systems möglich ist. Notwendig sind Gleichanteile im Strom, welche bei Kurzschlüssen auftreten. Um diese beschreiben zu können, sind in der Schätzgleichung Zeitableitungen der Stromzeiger zu berücksichtigen. Aufgrund der geringeren zeitlichen Dynamik der Zeiger und der Reduzierung des Rauschens lassen sich deren Zeitableitungen vorteilhaft berechnen. Im stationären Betriebsfall verschwinden die Zeitableitungen und die zugehörige Informationsmatrix wird singulär; in diesem Betriebsfall ist das System nicht identifizierbar. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate erfolgt die Berechnung der Parameter.

$$\begin{pmatrix} \Delta \underline{U}_{a,1} \\ \Delta \underline{U}_{b,1} \\ \Delta \underline{U}_{c,1} \\ \vdots \\ \Delta \underline{U}_{a,N} \\ \Delta \underline{U}_{b,N} \\ \Delta \underline{U}_{c,N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{I}_{a,1} & j\omega \underline{I}_{a,1} + \dot{\underline{I}}_{a,1} & \underline{I}_{b,1} & j\omega \underline{I}_{b,1} + \dot{\underline{I}}_{b,1} & \underline{I}_{c,1} & j\omega \underline{I}_{c,1} + \dot{\underline{I}}_{c,1} & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \underline{I}_{a,1} & j\omega \underline{I}_{a,1} + \dot{\underline{I}}_{a,1} & 0 & 0 & \underline{I}_{b,1} & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{I}_{a,1} & j\omega \underline{I}_{a,1} + \dot{\underline{I}}_{a,1} & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots \\ \underline{I}_{a,N} & j\omega \underline{I}_{a,N} + \dot{\underline{I}}_{a,N} & \underline{I}_{b,N} & j\omega \underline{I}_{b,N} + \dot{\underline{I}}_{b,N} & \underline{I}_{c,N} & j\omega \underline{I}_{c,N} + \dot{\underline{I}}_{c,N} & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \underline{I}_{a,N} & j\omega \underline{I}_{a,N} + \dot{\underline{I}}_{a,N} & 0 & 0 & \underline{I}_{b,N} & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{I}_{a,N} & j\omega \underline{I}_{a,N} + \dot{\underline{I}}_{a,N} & 0 & \cdots \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{aa} & L_{aa} & R_{ab} & L_{ab} & R_{ac} & L_{ac} & R_{bb} & L_{bb} & R_{bc} & L_{bc} & R_{cc} & L_{cc} \end{pmatrix}^T$$

Zur Überprüfung des Verfahrens wurden Testdaten mittels Simulationen generiert. Begonnen wurde mit einem unsymmetrischen Impedanzmodell. Anschließend wurde es durch Admittanzen an den Orten A und B (Bild 1) ergänzt. Letztendlich erzeugte ein Modell mit verteilten Parametern aus einer Matlab-Toolbox realitätsnahe Testdaten. Die Nachbildung eines AD-Wandlers modelliert die reale Messwerterfassung.

In Simulationen wurde festgestellt, dass sich einpolige Fehler mit Erdberührung besonders gut zur Parameterschätzung eignen. Bei der Parameteridentifikation wurden relative Fehler im Bereich $\pm 5\%$ erreicht. Der Algorithmus verarbeitete dabei an den Orten A und B synchron abgetastete Daten, was in der Praxis nicht zwangsweise gegeben ist. Asynchron abgetastete Messgrößen führen zu weiteren Fehlern bei der Parameteridentifikation.

In folgenden Arbeiten besteht die Aufgabe, Algorithmen zur Resynchronisierung der Messdaten zu entwickeln.



Philipp Stachel, Dipl.-Ing.

Korrektur der sekundärseitigen Signale gesättigter Stromwandler

Idealerweise soll ein Stromwandler den Primärstrom linear übertragen. In der Realität weicht das Übertragungsverhalten des Wandlers in Bereichen sehr hoher Primärströme bzw. bei zu großer Wandlerbürde in Abhängigkeit von der Dimensionierung (Bild 1a) stark ab. Wandlersättigungen verfälschen die Stromsignale derart, dass Schutzprinzipien nicht mehr funktionieren (z. B. Differentialschutz). Es können Über- und Unterfunktionen des Schutzsystems auftreten. Durch eine automatisierte Erkennung der Wandlersättigungen und eine Korrektur der gemessenen Ströme, kann sowohl Fehlfunktionen vorgebeugt, als auch die tatsächliche Belastung von Betriebsmitteln berechnet werden.

Für die Erkennung der Wandlersättigung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Verfahren erarbeitet, welches sowohl den 100 Hz-Anteil im Stromsignal als auch ein der zweiten Stromableitung proportionales Signal bewertet. Durch Kurzschlussimulationen mit einem Wandlermodell wurden geeignete Schwellwerte für beide Kriterien ermittelt.

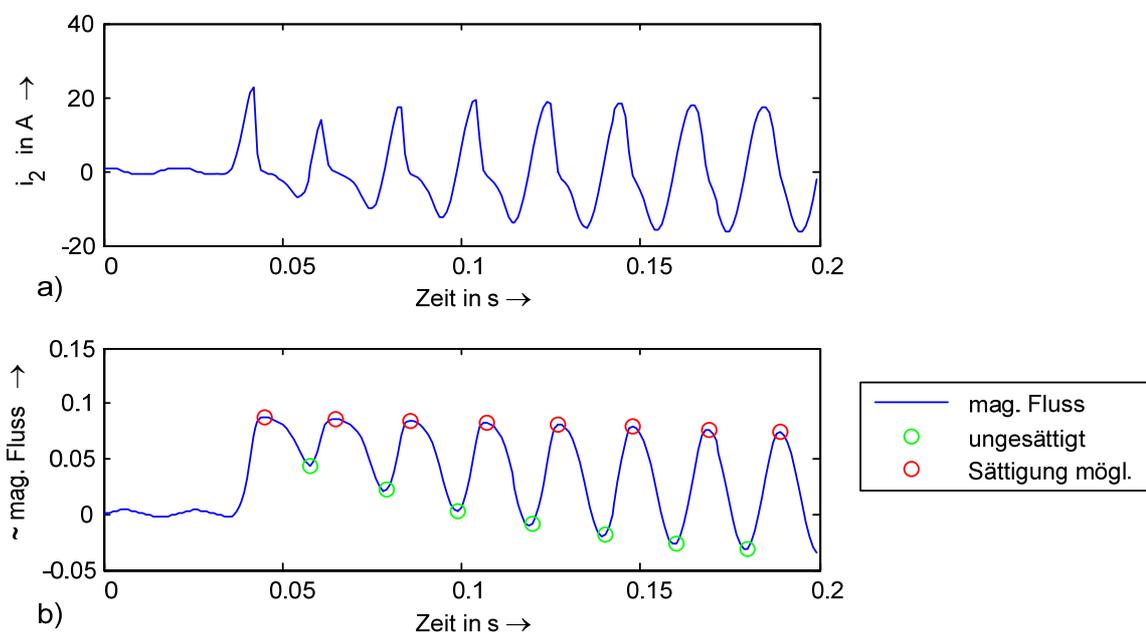


Bild 1: Gesättigter Sekundärstromverlauf a) und mag. Fluss-proportionales Signal b)

Bei erkannter Wandlersättigung sollen die Sekundärstromverläufe automatisch korrigiert werden. Dazu ist es notwendig die Stromsignale in gesättigte und ungesättigte Abschnitte zu unterteilen. Eine Grobunterteilung erfolgt mit einem dem magnetischen Fluss proportionalen Signal (Bild 1b). Mit Hilfe von Vorhersagefiltern (z. B. linear prediction coding) und entsprechender Schwellwerte wird schließlich eine genauere Einteilung vorgenommen. Aus den so ermittelten ungesättigten Stromabstastwerten (in Bild 2 mit * gekennzeichnet) kann der Gesamtverlauf des Sekundärstromes rekonstruiert werden.

Als Signalmodell für den sekundärseitig fließenden (ungesättigten) Strom gilt die folgende Gleichung:

$$i_2(t) = I_{DC} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_0}} + \hat{i}_{50} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$$

Die Startwerte der sechs unbekanntenen Parameter (I_{DC} , \hat{i}_{50} , τ_0 , τ_1 , f und φ_i) können aus dem (gesättigten) Gesamtstromverlauf geschätzt werden. Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung (engl.: curve fitting) erhält man den korrigierten Stromverlauf (Bild 2).

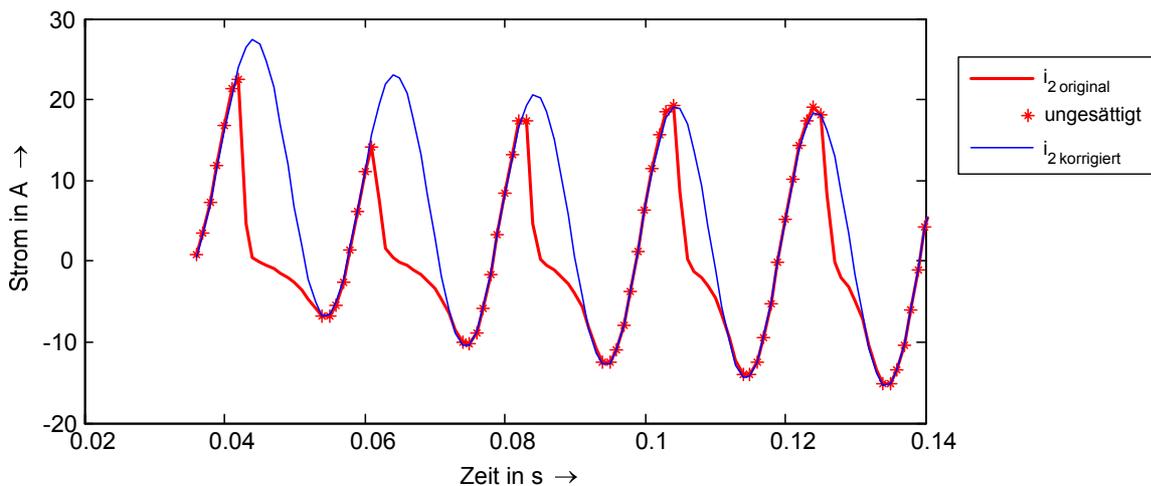


Bild 2: Gesättigter Sekundärstromverlauf und korrigiertes Stromsignal

Der auf diese Weise gewonnene Sekundärstromverlauf ist ein Maß für den wahren Primärstrom. Im Beispiel (hier simulierte Stromverläufe) ist die erste korrigierte Stromamplitude deutlich größer als der aufgezeichnete Sekundärstromverlauf und stimmt mit der Amplitude eines sättigungsfreien Wandlers gut überein.



Christian Ruckerl, M.Eng. [HTWK Leipzig]

Quellenorientierte und automatische Bewertung überlagerter magnetischer Felder

Dem Schutz des Menschen und der Vorsorge gegen schädliche Wirkungen von Magnetfeldern dienen Grenzwertfestlegungen in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung für die allgemeine Bevölkerung und in der Berufsgenossenschaftlichen Vorschrift BGV B11 (Elektromagnetische Felder [1]) für die bei der Berufsgenossenschaft Versicherten bei Ausübung ihrer Berufstätigkeit.

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. Insbesondere die Auswertung der Daten ist mit einem großen Aufwand verbunden. Bei einer Exposition durch gepulste Felder sind zudem andere Bewertungsverfahren anzuwenden als bei sinusförmigen periodischen Feldern einer Frequenz. Die Auswertung einer Messung kann dann nur im Nachhinein, nach der Bearbeitung der Messdaten, mit einer geeigneten Software erfolgen. Es besteht daher der Wunsch, ein automatisierbares Verfahren zu entwickeln, das die Expositionsbeurteilung gem. BGV B11 (Abschnitt 3 „Gepulste Felder“) nach reizphysiologischen Gesichtspunkten ermöglicht.

Das Ergebnis einer dreidimensionalen Feldmessung, welche N Abtastschritte umfasst, kann als Matrix (1) dargestellt werden.

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} B_x[1] & B_x[2] & \dots & B_x[N] \\ B_y[1] & B_y[2] & \dots & B_y[N] \\ B_z[1] & B_z[2] & \dots & B_z[N] \end{pmatrix} \quad (1)$$

Die Anzahl der unkorrelierten Feldquellen kann aus den Eigenwerten der Matrix (2) bestimmt werden [2].

$$\mathbf{X} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{B}^T \quad (2)$$

Da gepulste magnetische Felder induzierte Körperströme bewirken, wird zur Expositionsbeurteilung die zeitliche Flussdichteänderung bestimmt. Dafür werden die dreidimensionalen Messdaten in eine eindimensionale Zeitreihe

überführt. Neben der in der BGI 5011 [3] vorgeschlagenen Methode, die auf den Messwerten zu einem Zeitpunkt beruht, kann die Transformation auf eine Achse mit Hilfe der Eigenvektoren der Matrix (2) unter Einbeziehung aller Messdaten erfolgen. Die Überführung (3) in eine eindimensionale Zeitreihe ergibt mit dem Eigenvektor \mathbf{d} den größten Eigenwert.

$$B[n] = \mathbf{d}^T \cdot \mathbf{B} \quad (3)$$

Damit können die einschlägigen Bewertungsverfahren angewendet werden. Die vorgeschlagene Methode funktioniert jedoch nicht, wenn sich in den Messdaten zwei oder mehr Quellen überlagern. In diesem Fall wird die Trennung der überlagerten Feldkomponenten angestrebt. Eine Möglichkeit besteht in der Anwendung der Independent Component Analysis. Mit diesem Verfahren können Überlagerungen in statistisch unabhängige Faktoren zerlegt werden (Bild 1).

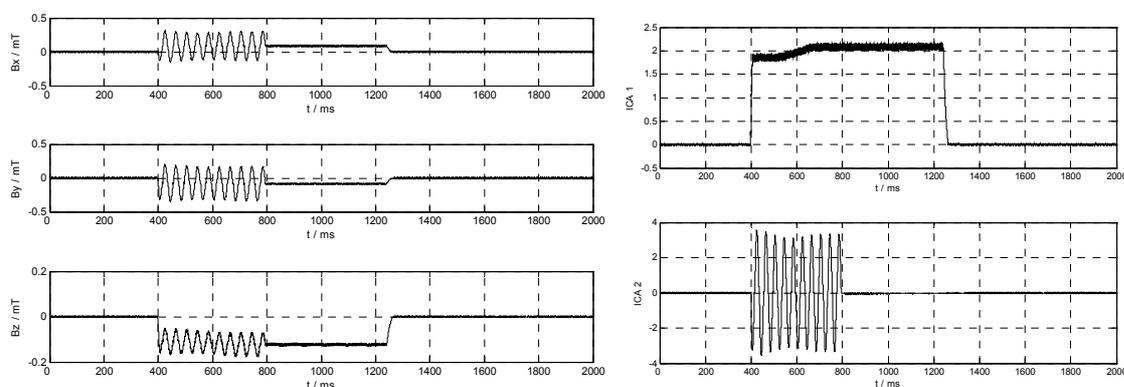


Bild 1: Überlagerung zweier magnetischer Felder (links), mit Hilfe der Independent Component Analysis getrennte Komponenten (rechts)

Die Trennung überlagerter Felder mit dieser Methode bietet sich insbesondere bei gepulsten Feldern an.

Die Erkennung einer Überlagerung mehrerer Feldquellen und die Projektion auf eine Achse sollen zukünftig in einem Messgerät angewendet werden. Eine Trennung der Überlagerung bietet neben der getrennten Bewertung die Möglichkeit, Störquellen bei Feldmessungen auszublenden.

- [1] BGV B11: Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“; Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, 2001
- [2] Rückerl, C.; Eichhorn, K.-F.; Bauer, H.: Zur quellenorientierten und automatischen Bewertung überlagerter magnetischer Felder, Elektromagnetische Verträglichkeit EMV 2008; VDE Verlag; 2008
- [3] BGI 5011: Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen; 2006

Forschung

Diplomarbeiten

Dankert, Mario

Grundlagenuntersuchung zum Niederspannungsstörlichtbogen

DA 06/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Große, Martin

Anwendung des Verfahrens der Referenznetzanalyse zur Quantifizierung und Bewertung der Kosten von Energieversorgungsnetzen

DA 10/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert)

Müller, Matthias

Transient stability analysis of an electric transmission network

DA 01/2008 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dipl.-Ing. R. Schulze)

Weidner, Johannes

Identifikation von Freileitungen durch Messung der elektrischen Feldstärke und Einsatz neuronaler Netze

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

Vogt, Steffen

Erhöhung der Übertragungskapazität des 380-kV-/220-kV-Verbundnetzes durch ein vermaschtes, überlagertes HGÜ-Netz

DA 04/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. Ph. Stachel)

Studienarbeiten

Zeise, Stefan

Neukonzeption eines Versuchsstandes zum Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren

SA 07/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Krüger, Christoph

Konzeption und Aufbau einer Einrichtung zur Steuerung von Verbrauchern des Dynamischen Netzmodells

SA 08/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert)

Domagk, Max

Simulationstechnische Untersuchung von möglichen Einflussfaktoren auf die Lichtbogenlöschung von einpoligen Erdfehlerlichtbögen in resonanzsternpunktgeerdeten Verteilungsnetzen

SA 09/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) S. Höpfner)

Jorks, Hai Van

Vergleich von Strukturen für die Stationsleittechnik auf Grundlage von IEC 61850 und Ethernet

SA 10/2007 (Betreuer: Doz. Dr.-Ing. H. Bauer)

Krüger, Tobias

Vergleichende Bewertung von Verfahren zur Berechnung von Grenzwerten für Stromharmonische

SA 08/2008 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Vorträge

Stachel, Philipp

Segmentierung von Stördatenaufzeichnungen als Basis für eine automatische Auswertung

„9. Dresdner Kreis 2008“, Dresden, 27.-28.03.2008

Henze, Christian

Freileitungsidentifikation auf der Basis von Messungen der elektrischen Feldstärke

„9. Dresdner Kreis 2008“, Dresden, 27.-28.03.2008

Meyer, Jan

Anforderungen an die Prüfung von PQ-Messgeräten nach IEC 61000-4-30
OMICRON, Klaus/Österreich, 17.04.2008

Bauer, Hartmut

Anwendungsbeispiel IEC 61850 – Modellierung einer Schaltanlage
FGH-Seminar IEC 61850, Heidelberg, 11.06.2008

Stachel, Philipp; Schegner, Peter

Enhanced segmentation of disturbance records by adaptive thresholding
16th Power Systems Computation Conference (PSCC) 2008, Glasgow/
Schottland, 14.-18.07.2008

Winkler, Gert

Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen D-A-CH-CZ
(2. Ausgabe 2007)

3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008

Forschung

Meyer, Jan
Aktueller Stand der Normung
3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008

Meyer, Jan
Bewertung der Spannungsqualität nach EN 50160
3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008

Schegner, Peter; Stachel, Philipp
Störfalldatenauswertung – erweiterte Anwendungsmöglichkeiten
AREVA Schutz- und Leitertechniktage 2008. Frankfurt am Main, 22.09.2008

Bauer, Hartmut
Bachelor-/Masterstudium Studienrichtung Elektroenergie-technik im Studiengang Elektrotechnik
IPP-Symposium der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dresden, 30.09.-01.10.2008

Meyer, Jan
Increasing the Reliability of Indices for Power Quality Assessment in Distribution Networks
13th International Conference on Harmonics and Quality of Power
University of Wollongong/Australien, 28.09.-01.10.2008

Meyer, Jan
Methods for the Assessment of Network Disturbances in Distribution Networks
13th International Conference on Harmonics and Quality of Power
University of Wollongong/Australien, 28.09.-01.10.2008

Meyer, Jan
Statistical Methods Applied to Power Quality Analysis
University of Adelaide/Australien, 07.10.2008

Meyer, Jan
Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen (2. Ausgabe der D-A-CH-CZ-TR)
VSE Fachtagung Versorgungsqualität, Brunnen/Schweiz, 10./11.11.2008

Schegner, Peter
Smart Grids: Auswirkungen auf die Schutztechnik
ETG/BDEW-Tutorial „Schutz- und Leitertechnik 2008“. Fulda, 11.-12.11.2008

Stachel, Philipp; Schegner, Peter
Unterstützung des Netzbetriebes durch systematische Auswertung von
Stördatenaufzeichnungen
ETG/BDEW-Tutorial „Schutz- und Leittechnik 2008“. Fulda, 11.-12.11.2008

Bauer, Hartmut
Isolationskoordination und Überspannungsschutz
Seminar Hochspannungsschaltanlagen, Haus der Technik Essen,
12.11.2008

Bauer, Hartmut
Isolationskoordination in Verteilungsnetzen
FGH-Seminar Isolationskoordination, Deidesheim, 25.11.2008

Veröffentlichungen

Stachel, Ph.; Schegner, P.:
Enhanced segmentation of disturbance records by adaptive thresholding
16th Power Systems Computation Conference (PSCC) 2008, Glasgow/
Schottland, 14.-18.07.2008

Winkler, G.:
Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen D-A-CH-CZ
(2. Ausgabe 2007)
3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008, Materialienband

Meyer, J.:
Aktueller Stand der Normung
3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008, Materialienband

Meyer, J.:
Bewertung der Spannungsqualität nach EN 50160
3. Fachtagung Netzurückwirkungen und Spannungsqualität, Dresden,
18.09.2008, Materialienband

Eberl, G.; Meyer, J.; Schegner, P.:
Increasing the Reliability of Indices for Power Quality Assessment in Distri-
bution Networks
13th International Conference on Harmonics and Quality of Power
University of Wollongong/Australien, 28.09.-01.10.2008

Forschung

Ammeter, U.; Hanzlik, J.; Meyer, J.; Zierlinger, J.:
Methods for the Assessment of Network Disturbances in Distribution Networks
13th International Conference on Harmonics and Quality of Power
University of Wollongong/Australien, 28.09.-01.10.2008

Schegner, P.; Schwaegerl, C.; Simon, R.:
Smart Grids: Auswirkungen auf die Schutztechnik
ETG/BDEW-Tutorial „Schutz- und Leittechnik 2008“. Fulda, 11.-12.11.2008

Stachel, Ph.; Schegner, P.:
Unterstützung des Netzbetriebes durch systematische Auswertung von
Stördatenaufzeichnungen
ETG/BDEW-Tutorial „Schutz- und Leittechnik 2008“. Fulda, 11.-12.11.2008

Rückerl, Chr.; Bauer, H.:
Bewertung überlagerter magnetischer Felder
EMV 2008, Düsseldorf, 19.-21.02.2008, Tagungsband

Schäffler, Th.; Bauer, H.; u. a.:
Process Communication in Switchgear according to IEC 61850-
Architectures and Application examples
CIGRE 2008, Paris/Frankreich, paper B5-109

Bauer, H.:
Isolationskoordination. Abschnitt 4.2 + Leittechnik. Abschnitt 4.4
in Schufft, W.: Taschenbuch der elektrischen Energietechnik
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München, 2007

Schäffler, Th.; Bauer, H. u. a.:
IEC 61850 für die prozessnahe Kommunikation in Schaltanlagen
Elektrizitätswirtschaft ew Jg. 107 (2008), Heft 25-26, S. 72-77

Hochspannungstechnik

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

- Belastung von Isolierungen mit impulsförmigen Spannungen

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.



Solaiman Rahmoon, Dipl. Ing.

Einfluss der Öltemperatur auf das Durchschlagverhalten von Öl-Lack-Isolierungen in Öltransformatoren

Bei Öltransformatoren, die in Voltage-Source-Konverterstationen eingesetzt werden, ist die auf die Isolierung einwirkende Belastung auf Grund der auftretenden Spannungsimpulse mit kleinen Anstiegszeiten um ein Vielfaches höher als bei rein sinusförmiger Wechselspannung. Diese kann damit zu Isolationsschäden führen.

Die am meisten verbreitete Isolierart in Öltransformatoren ist die Öl-Papier-Isolierung. In der letzten Zeit geht die Tendenz im Öltransformatorenbau aber auch zur Öl-Lack-Isolierung von Wicklungen. Der lackisolierte Draht hat den Vorteil einer sehr geringen Isolierhülle gegenüber dem üblicherweise verwendeten papierisolierten Draht. Durch diese Isolierart erreicht man ein besseres Leistungsgewicht der Transformatoren, wodurch kleinere Transformatoren gebaut werden können.

Um zu prüfen, ob die Öltemperatur das Durchschlagverhalten der Öl-Lack-Isolierung beeinflusst oder nicht, sollen bei Wechselspannung und verschiedenen Impulsbeanspruchungen Versuche ausgeführt werden. Die Experimente zur Ermittlung der Durchschlagspannung und der Teilentladungen wurden an dem typischen Modell der Windungsisolierung „lackisolierte Drähte gegeneinander“ durchgeführt (Bild 1).

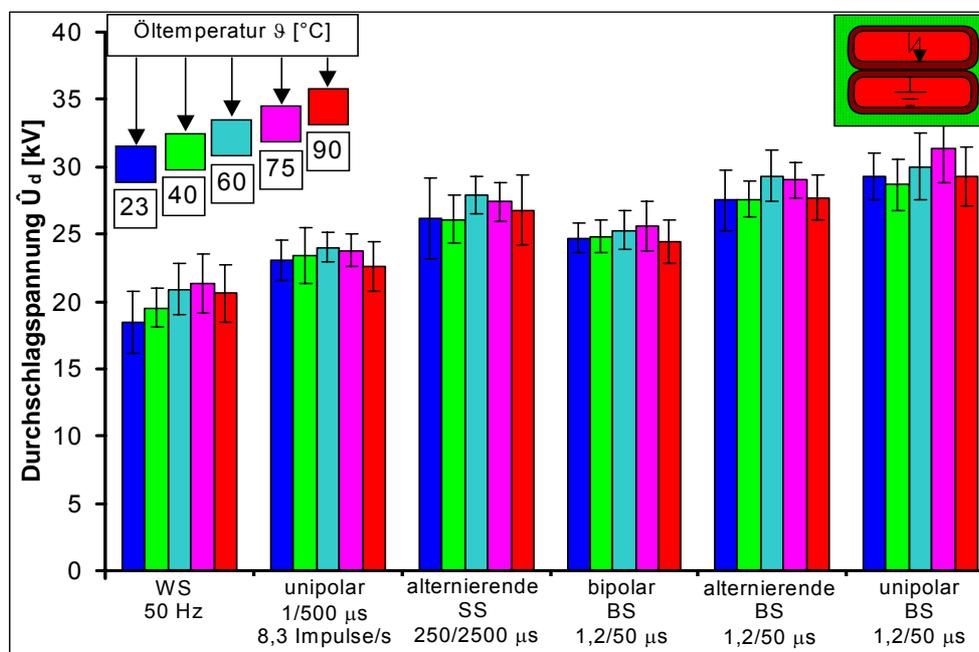


Bild 1: Durchschlagspannung der Modellanordnung „lackisolierte Drähte gegeneinander“ abhängig von der Spannungsart bei verschiedenen Öltemperaturen (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Die Durchschlagspannung wird unabhängig von der Spannungsart durch die Öltemperatur beeinflusst. Bei Raumtemperatur wurden die geringsten Durchschlagspannungen gemessen. Dagegen zeigen sich im Vergleich bei 60 °C oder 75 °C heißem Öl ca. 7 bis 10 % höhere Durchschlagspannungen. Bei 90 °C ist eine tendenzielle Abnahme der Durchschlagspannung zu verzeichnen. Experimentelle Erfahrungen aus der Literatur ergeben bei 50 Hz ebenfalls ein Maximum der Durchschlagfestigkeit von Öl im Bereich 60 °C bis 80 °C. Die Temperatur des Öls hat einen entscheidenden Einfluss auf dessen physikalische und chemische Eigenschaften. Mit steigender Temperatur sind zwei Effekte zu beobachten. Zum einen nimmt die Viskosität ab, wodurch die Ladungsträgerbewegung im Öl zunimmt und damit die elektrische Festigkeit herabgesetzt wird. Zum anderen steigt die Lösungs-fähigkeit des Öls für Wasser. Es ergibt sich eine Anhebung der Durchschlagspannung, da Reste von unter Umständen ungelösten Gasen und emulgiertem Wasser gelöst werden können. Bei den Öltemperaturen 23 °C und 40 °C bestimmen hauptsächlich ungelöstes Wasser und Gasblasen die Durchschlagspannung. Steigt die Temperatur des Öls weiter auf 90 °C, führt die geringere Viskosität zu niedrigeren Durchschlagspannungen.

Die scheinbaren Ladungen der Teilentladungen wurden in Spannungssteigerungsversuch abhängig von der Spannung bei 23 °C und 60 °C ermittelt (Bild 2). Bei der Montage den lackisolierten Drähten gegeneinander können zwischen den Drähten abgeschlossene Gasblasen entstehen. Deshalb sind die TE-Einsetzspannungen bei beiden Temperaturstufen sehr niedrig (E). Die Ladungen sind unabhängig von der Öltemperatur (Bereich G).

Im Bereich S treten sowohl Entladungen in Gaseinschlüssen als auch zusätzlich Streamerentladungen in den ölgefüllten Hohlräumen und im Öl-Zwickel auf. Deren Ladungen sind bei 60 °C mehr als doppelt so groß wie bei einer Öltemperatur von 23 °C.

Bei Lackisolierung können die Streamerentladungen zur Erosion der Lack-schichten führen, was zu einem sofortigen Durchschlag (D) bei erster Zündung des Leaders (L) im Öl-Zwickel führt.

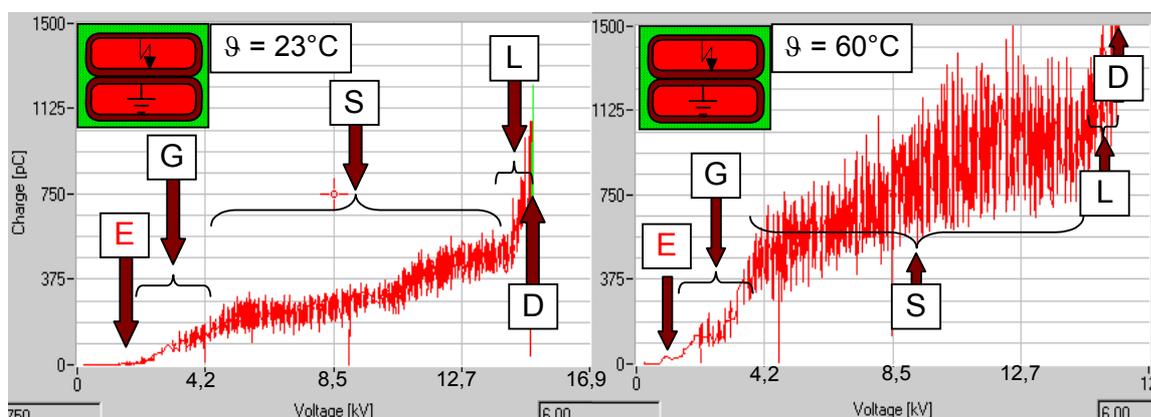


Bild 2: TE-Intensität der untersuchten Modellanordnung abhängig von der Spannung bei zwei Temperaturstufen 23 °C und 60 °C



Thomas Jordan, Dipl.-Ing.

Durchschlagverhalten von Mehrelektroden-Anordnungen (MEA)

Bisherige Untersuchungen an Mehrelektroden-Anordnungen (Dreielektroden-Anordnungen im Abstandsbereich zwischen 10 und 30 cm) zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Durchschlagwechselfspannung von der Position der auf freiem Potential befindlichen Zwischenelektrode (ZWE) zwischen den äußeren Elektroden (HE, EE). Die minimale Durchschlagwechselfspannung wird für die Position erreicht, bei der sich die ZWE in unmittelbarer Nähe zur Hochspannungselektrode (HE) befindet, ohne diese zu berühren. Berührt die ZWE die HE steigt die Durchschlagspannung wieder an. In beiden Fällen ist die resultierende Luftfunkenstrecke aber gleich groß. Dieser Effekt wurde näher untersucht.

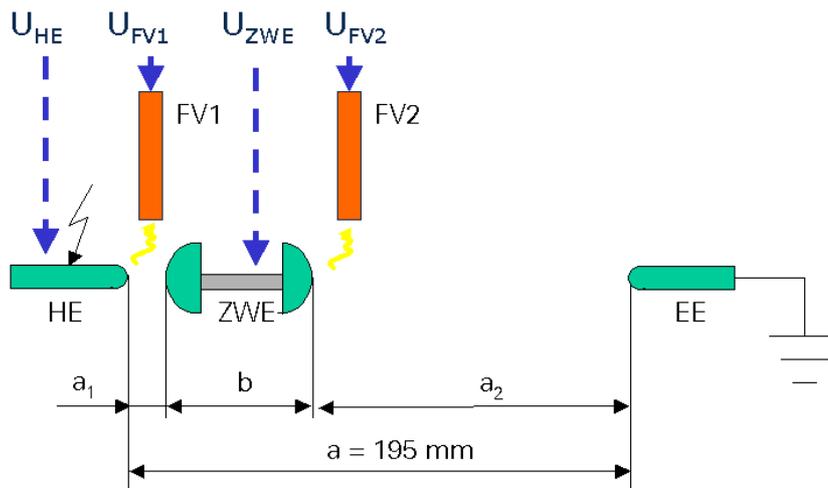


Bild 1: Schematischer Aufbau der Versuchsanordnung

In der Anordnung 1 ($a_1 = 0$ mm), die einer normalen Zweielektroden-Anordnung entspricht, sind an der Zwischenelektrode Glimmentladungen zu beobachten (Bild 2). Bei der Anordnung 2 ($a_1 = 1$ mm), die sich nur durch den Luftspalt zwischen ZWE und HE von der Anordnung 1 unterscheidet, werden weit in den Raum reichende Streamerentladungen an der ZWE sichtbar (Bild 3).

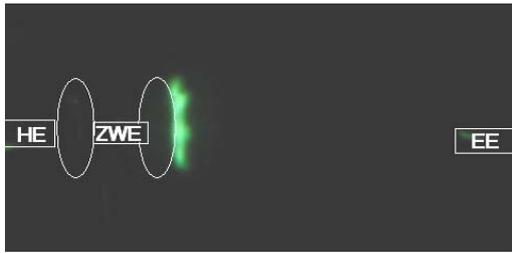


Bild 2: Vorentladung Anordnung 1

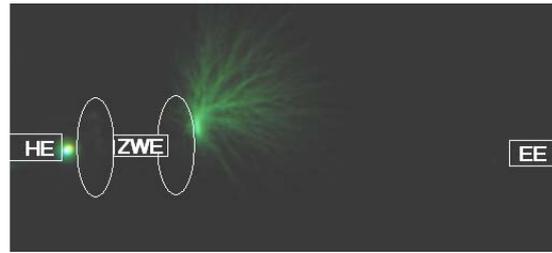


Bild 3: Vorentladung Anordnung 2

Weitere Untersuchungen wurden mit Fotovervielfachern (FV1, FV2) durchgeführt, um Teilentladungen zu detektieren. Zusätzlich wurde mit einem kapazitiven Spannungsteiler die Spannung an der ZWE gemessen. Es zeigt sich, dass das Entladungsverhalten von MEA dem von Hohlraumentladungen bzw. dem klassischen Schema der inneren Teilentladung gleicht. Das bedeutet, dass der Teildurchschlag der Luftfunkenstrecke a_1 immer im Bereich des Spannungsnulldurchgangs erfolgt, während sich die Spannung an der ZWE mit jedem Teildurchschlag stufenförmig erhöht (Bild 4). Durch die impulsartige Entladung der Teilkapazität über a_1 steigt die Spannung an der ZWE impulsartig an und führt zu einer Art „Ausbruchsentladung“ an der ZWE in Form eines weit reichenden Streamers. In der Anordnung 1, bei der die Spannung an der ZWE der Prüfspannung folgt, kann sich durch die langsame Spannungserhöhung eine das Feld vergleichmäßigende Glimmentladung auf der Oberfläche der ZWE herausbilden. Das führt zu einer Erhöhung der Durchschlagspannung, weil der Durchschlag spät, direkt aus der Glimmentladung heraus erfolgt.

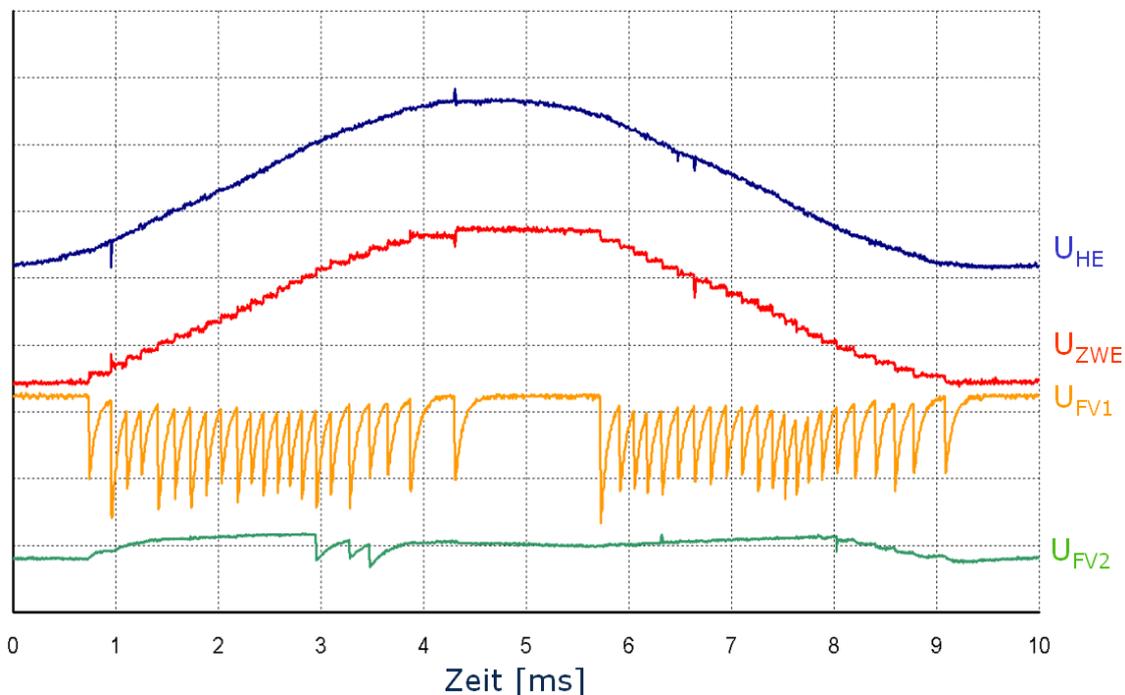


Bild 4: Qualitativer Signalverlauf der Prüfspannung U_{HE} , der Spannung an der Zwischen-elektrode U_{ZWE} und der Fotovervielfachersignale U_{FV1} und U_{FV2} für die Anordnung 2



Irina Ovsyanko, Dipl.-Ing.

Einfluss von Regen auf das Entladungsverhalten von Abschirmelektroden bei hohen Gleichspannungen

Werden HGÜ-Anlagen für Freilufteinsatz dimensioniert, muss nicht nur der trockene, sondern auch der beregnete Zustand betrachtet werden. Durch die veränderte Mikrogeometrie an den Abschirmelektroden wird die Entladungszündung im beregneten Zustand bei niedrigeren Spannungen möglich. Die Regentropfen stellen Störstellen an der Oberfläche der Abschirmelektroden und in der Luft dar. Die Feldstärke in unmittelbarer Nähe der Störstelle, die sich an der Oberfläche der Abschirmelektrode befindet, wird wesentlich höher als das Elektrodengrundfeld. Die Reichweite dieser Feldstörung beträgt dabei nur wenige Millimeter. Der Grad der Feldstörung wird maßgeblich durch die Störstellenform bestimmt. Damit wird an der Störstelle die Entladungszündbedingung, d. h. genügend hohe Feldstärke in einem ausreichend großen Volumen, bereits bei niedrigerer Elektrodenspannung erreicht. Die Folge ist eine niedrige Einsetz- bzw. Durchschlagspannung. Um dieses Verhalten zu untersuchen, soll die Entladungszündung an großflächigen Toroiden experimentell bei Beregnung ermittelt werden.

Das Entladungsverhalten im beregneten Zustand wurde an der Anordnung Doppel-Toroid gegen geerdete Platte bei Elektrodenabständen bis zu 5 m untersucht. (Bild 1). Die geerdete Platte wurde als Wasserplatte realisiert, da mit einer Wasserplatte eine ideale, beliebige große und saubere Oberfläche nachgebildet werden kann. Der Regen für die Untersuchungen wurde nach Norm realisiert.



Bild 1: Versuchsanordnung

Die Entladungskenngrößen sind Zufallsgrößen. Ihre Messwerte streuen zufällig um einen mittleren Wert. Für die Analyse eines zufälligen Vorganges sollten deshalb eine große Anzahl von Versuchen durchgeführt werden. Für die Untersuchungen wurde die Spannung pro Abstand 50-mal bis zur Einsetzspannung bzw. bis zum Durchschlag gesteigert, um die Verteilungsfunktionen der Entladungskenn-

größen ermitteln zu können. Es wurden die Summenhäufigkeitsfunktionen der Entladungseinsetzspannung an den Wassertropfen und der Durchschlagspannungen bei positiver und negativer Polarität der Gleichspannung bestimmt.

Es wurde erwartungsgemäß festgestellt, dass Regentropfen einen Einfluss auf das Entladungsverhalten haben. Die Streamereinsatzspannungen U_s am Tropfen stimmen für beide Polaritäten der Gleichspannung gut überein und liegen deutlich niedriger als die berechnete Streamereinsatzspannung an derselben Anordnung im trockenen Zustand (Bild 2). Die bezogene Durchschlagspannung U_d im berechneten Zustand beträgt bei den untersuchten Abständen und positiver Gleichspannung etwa 5 kV/cm. Durch die Wassertropfen wird das Feld stark inhomogen. Der Durchschlag erfolgt wie bei einer Spitze-Platte-Anordnung im trockenen Zustand aus der positiven Streamerentladung.

Die Durchschlagspannungen im berechneten Zustand für negative Polarität, stimmen bei allen Abständen gut mit den experimentell ermittelten Durchschlagspannungen bei positiver Gleichspannung überein. Eigentlich wurde erwartet, dass der Anstieg dieser Kurve entsprechend des Spannungsbedarfs des negativen Streames 10 bis 15 kV/cm beträgt. Das Spritzwasser bildet jedoch eine Störstelle an der geerdeten Oberfläche. Bei negativer Gleichspannung am Toroid bildet sich ein positiver Streamer an diesen Wasserspritzern, der dann zum Durchschlag führt.

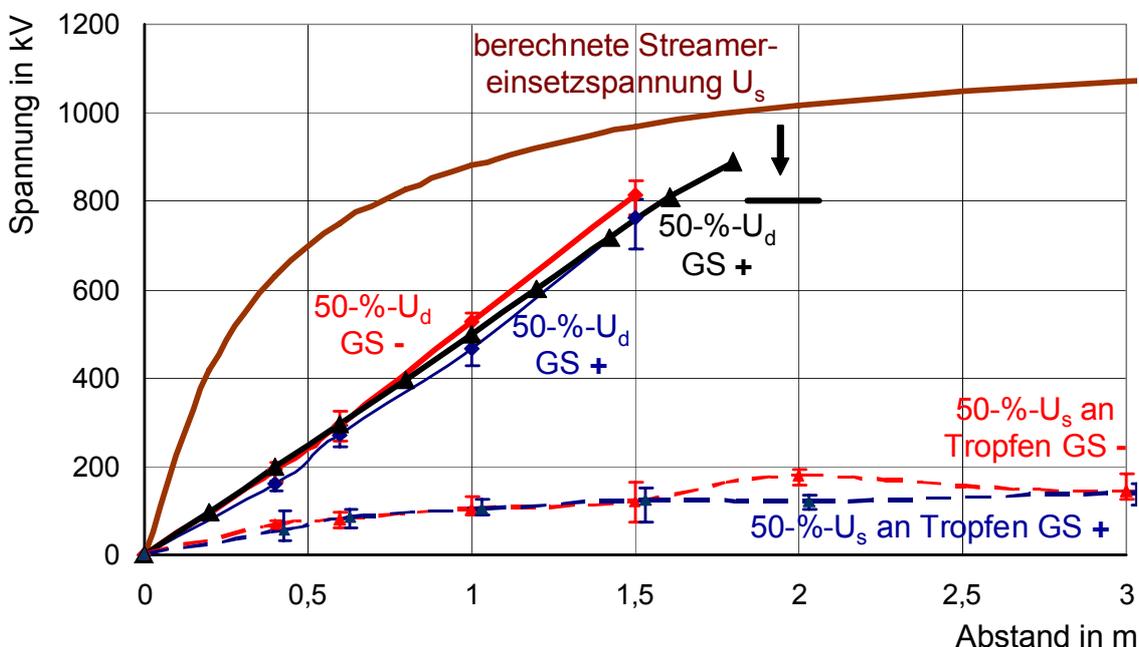


Bild 2: Entladungsverhalten an einer berechneten Toroid-Platte-Anordnung

Forschung

Diplomarbeiten

Neumann, Sebastian

Untersuchung der Anwendbarkeit des Elektroimpulsverfahrens für Bohrungen für die Tiefengeothermie

DA 09/2007 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Speck)

Conrad, Melanie

Untersuchungen zum Isoliervermögen von Kunststoffbarrieren in AuS-relevanten Mehrelektrodenanordnungen in Mittelspannungs-Schaltanlagen

DA 05/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. Th. Jordan)

Studienarbeiten

Kowal, Katarzyna

Experimentale Arbeiten zum Entladungsverhalten von symmetrischen Luftfunkenstrecken bei hohen Gleichspannungen

SA 08/2006 (Betreuer: Dipl.-Ing. I. Ovsyanko)

Juskewitz, Robert

Untersuchungen zum Einfluss der Elektrodengeometrie in AuS-relevanten Mehrelektrodenanordnungen

SA 04/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. Th. Jordan)

Conrad, Melanie

Untersuchungen zur Beschreibung von Entladungsvorgängen in AuS-relevanten Mehrelektrodenanordnungen

SA 05/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. Th. Jordan)

Vorträge

Großmann, Steffen

Zum Einsatz von Phasenabstandshaltern in Hochspannungsfreileitungen

RIBE-Symposium, Shanghai/China, 11./12.10.2008

Ovsyanko, Irina

Abschirmelektroden für hohe Gleichspannungen

16. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, München,

05.-07.06.2008

Speck, Joachim

Electrical Stress and Failure Mechanism of the Winding Insulation of Low-Voltage Motors Powered by Voltage Source Inverters

14th International Workshop on High Voltage Engineering, Dymaczewo/
Polen, 22.-26.09.2008

Conrad, Melanie; Jordan, Thomas; Engelmann, Eberhard; Großmann, Steffen
Breakdown Behaviour of Three-Electrode-Systems for Live Working

14th International Workshop on High Voltage Engineering, Dymaczewo/
Polen, 22.-26.09.2008

Ovsyanko, Irina

Breakdown Behaviour of Screening Electrodes for HVDC Insulations

14th International Workshop on High Voltage Engineering, Dymaczewo/
Polen, 22.-26.09.2008

Jordan, Thomas

Ermittlung der Gefährdungswahrscheinlichkeit für das Arbeiten unter Spannung

VWEW Fachtagung "Arbeiten unter Spannung", Hannover, 02.-03.12.2008

Veröffentlichungen

Jordan, Th.:

Isoliervermögen und Stromtragfähigkeit eines neuen Überbrückungssystems für Mittelspannungs-Innenraum-Schaltanlagen

netzpraxis Jg. 47 (2008), Heft 4, S. 34 - 38

Jordan, T.; Engelmann, E.; Großmann, S.:

Dielectric strength and ampacity of a new by-pass system for air-insulated MV-switchgears

International Conference Of Live Maintenance (ICOLIM), Torún/Polen,
04.-06.06.2008

Kaufhold, M.; Weidner, J.; Kielmann, F.; Speck, J.:

Nutzung nichtlinearer Werkstoffeigenschaften in Isoliersystemen rotierender elektrischer Maschinen – Anforderungen, Design, Betriebsverfahren

ETG-Workshop „Werkstoffe mit nichtlinearen dielektrischen Eigenschaften“, Stuttgart, 12./13.03.2008

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.



Falk Blumenroth, Dipl.-Ing.

Alterung durch Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit Schraubenfedern

Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit versilberten Kontaktflächen verändert bzw. erhöht die Verbindungswiderstände während deren Lebensdauer. D. h., durch Gleitverschleiß altern die Verbindungen. Steckverbindungen mit versilberten Schraubenfedern werden in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen eingesetzt, um „ruhende“ Leiter miteinander zu verbinden [1]. Die Lebensdauer der Anlagen und damit der Steckverbindungen beträgt mehr als 40 Jahre.

Gleitverschleiß entsteht durch langsame Gleitbewegungen im mm-Bereich, die durch die lastabhängige thermische Ausdehnung der Kontaktpartner entstehen. Ein typischer Tageslastgang in einem öffentlichen Energieversorgungsnetz besitzt i. d. R. zwei Lastspitzen pro Tag, die zwischen der Schraubenfeder und dem Leiterrohr Gleitbewegungen von bis zu 4 mm erzeugen können. Während der Lebensdauer der Verbindung können somit ca. 30.000 solcher Gleitbewegungen, resultierend aus den Belastungszyklen, auftreten. Zur Analyse des Einflusses von Gleitverschleiß auf das Langzeitverhalten von Steckverbindungen mit Schraubenfedern wurde deshalb ein Versuchsstand aufgebaut, der in [1] bereits näher beschrieben wurde.

Bei einer Verbindungstemperatur von ca. 23 °C (Raumtemperatur) wurden vier CuCo₂Be-Schraubenfedern parallel untersucht (Bilder 1 und 2). Die Versuchsergebnisse dienen dabei als Vergleichsgrundlage für weitere Versuche, bei denen die Verbindungen mit Strom und dadurch mit erhöhten Temperaturen belastet werden. Der Einfluss des Stromes und der Temperatur auf das Langzeitverhalten der Verbindung soll mit diesen Versuchen ermittelt werden. Die Dicke der Silberschicht auf den Kontaktflächen beträgt ca. 20 µm. Vor jedem Versuch werden die Kontaktflächen mit Spiritus gereinigt und dünn eingefettet.

Die Verbindungswiderstände werden über fünf Zyklen (ein Zyklus entspricht einer Gleitbewegung hin und zurück) in periodischen Abständen von ca. 2.000 Zyklen gemessen. Dabei werden die Mittelwerte der Verbindungswiderstände und die Spannweiten bestimmt (Bild 1). Außer den Widerständen wird die Reibkraft-Weg-Hysterese der vier Steckverbindungen gemessen und daraus die mittlere Gleitreibungskraft bestimmt (Bild 2).

Am Anfang des Versuchs (< 2.000 Zyklen) verringerten sich die Verbindungswiderstände (Bild 1). Der Grund dafür wird im Zerreißen der Fremdschichten im Kontaktbereich und im sich Vergrößern der Kontaktflächen

durch plastische Deformation gesehen. Mit größer werdender Zyklenzahl (> 15.000) werden die Kontaktflächen kalt verfestigt und die Mikrogeometrie in der Kontaktfläche (Engstellen) quasi glatt poliert, so dass weniger Engstellen in den Kontaktflächen vorhanden sind und damit der Verbindungswiderstand größer wird (Bild 1). Da die Anzahl der Engstellen geringer wird, wird auch die Gleitreibungskraft in den Verbindungen kleiner (Bild 2). Am Ende des Versuchs wurden die Verbindungen geöffnet. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Abrieb (Verschleiß) der versilberten Kontaktflächen minimal war. Die Silberschichten waren an den Kontaktflächen noch durchgängig vorhanden.

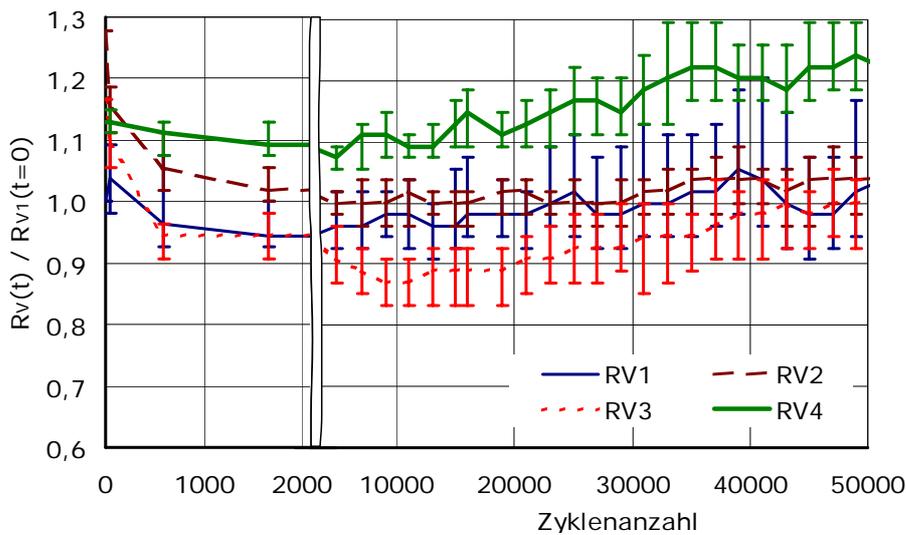


Bild 1: Verbindungswiderstände abhängig von der Anzahl der Belastungszyklen (0,033 Hz und 2,2 mm) bei $\vartheta_V \approx 23 \text{ }^\circ\text{C}$

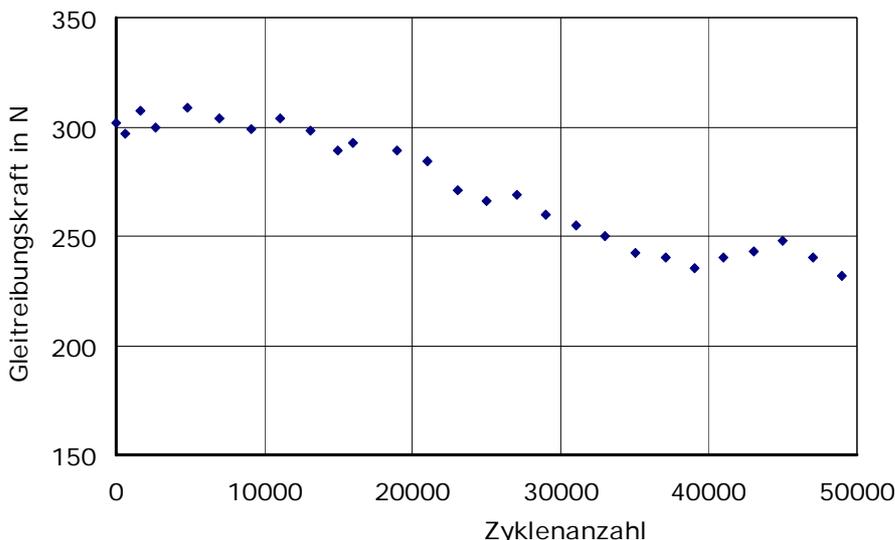


Bild 2: Gleitreibungskraft (4 Verbindungen) abhängig von der Anzahl der Belastungszyklen (0,033 Hz und 2,2 mm) bei $\vartheta_V \approx 23 \text{ }^\circ\text{C}$

[1] Blumenroth, F.: Alterung durch Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit Schraubenfedern – Versuchsaufbau, Jahresbericht IEEH 2007



Ronny Schneider, Dipl.-Ing.

Alterung elektrischer Bimetallverbindungen durch Interdiffusion

Nach der Montage der Stromschienen-Schraubenverbindungen wirken in diesen abhängig von den verwendeten Leitermaterialien verschiedene Alterungsmechanismen. In Bimetallverbindungen diffundieren z. B. die Atome vom Material A in das Material B und umgekehrt. Diese sogenannte Interdiffusion ist abhängig von der Materialpaarung und der Temperatur. In den Mikrokontakten der Bimetallverbindung bilden sich Misch- und intermetallische Phasen, die zu höheren Verbindungswiderständen führen.

Zur Untersuchung der Interdiffusion an Bimetallverbindungen wurden Langzeitversuche mit den Materialpaaren Ag-Al, Al-Cu und Ag-Cu aufgebaut. Die Verbindungen bestehen aus Stromschienen mit den Abmessungen 50 mm x 10 mm. Die Leiter sind bei allen Verbindungen aus Aluminium und Kupfer. Silber wird auf die Leiter direkt oder mit Zwischenschichten galvanisch aufgebracht. Die Verbindungsflächen sind teilweise gerillt ausgeführt (Bild 1b). Bei einer 90 Grad versetzten Rillung beider Verbindungsflächen werden definierte Kontaktflächen geschaffen, die für mikroskopische Untersuchungen eindeutig definiert sind.

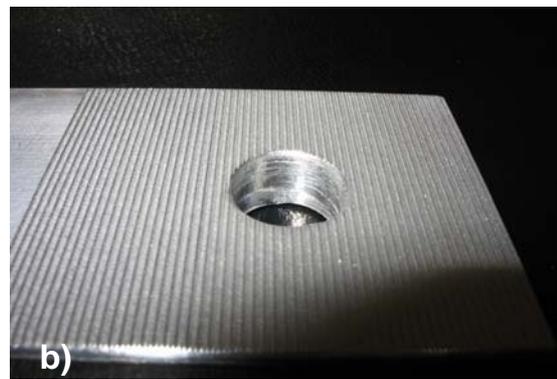
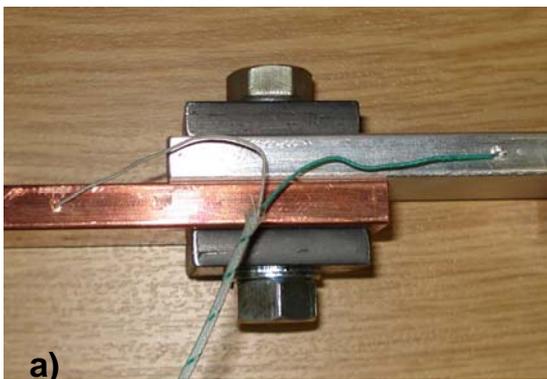


Bild 1: Kupfer-Aluminium-Stromschienenverbindung (rechts), gerillte Kontaktfläche einer Aluminium Stromschiene (links)

Um die Interdiffusion anhand des elektrischen Widerstandes der Verbindung beurteilen zu können, müssen alle weiteren Alterungsmechanismen in ihrer Wirksamkeit möglichst ausgeschlossen werden.

Deshalb werden die Verbindungen unter Stickstoff gelagert, um die Oxidation und damit die Fremdschichtbildung auf den wahren Kontaktflächen

zu verhindern. Die Erwärmung der Verbindungen erfolgt indirekt über eine äußere Heizung, so dass die Alterung durch Elektromigration ausgeschlossen ist. Zusätzliche „Stahl-Druckplatten“ (Bild 1a) minimieren den Kraftabbau in der Schraubenverbindung, der durch das Kriechen des Materials hervorgerufen wird. Die Verbindungen werden auf 200 °C erwärmt. Diese hohe Temperatur, im Vergleich zu den in den Normen festgelegten Grenztemperaturen von 90 °C bis 115 °C wurde gewählt, um eine beschleunigte Alterung durch Interdiffusion zu erreichen, die es ermöglicht, bereits nach wenigen Monaten auswertbare Ergebnisse zu erhalten.

Neben der Beurteilung der Interdiffusion über den gut messbaren elektrischen Widerstand werden auch mikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Mit einer EDX-Analyse werden die Bestandteile des Materials abhängig von der Belastungszeit örtlich bestimmt. Mit Hilfe einer Konzentrationsverteilung kann die Diffusion der Atome beschrieben werden. Um die Interdiffusion abhängig von der Belastung (Temperatur) und der Zeit beurteilen zu können, werden für alle Materialkombinationen direkt nach der Montage Konzentrationsverteilungen bestimmt (Bild 2), da zu diesem Zeitpunkt noch keine Interdiffusion stattgefunden hat.

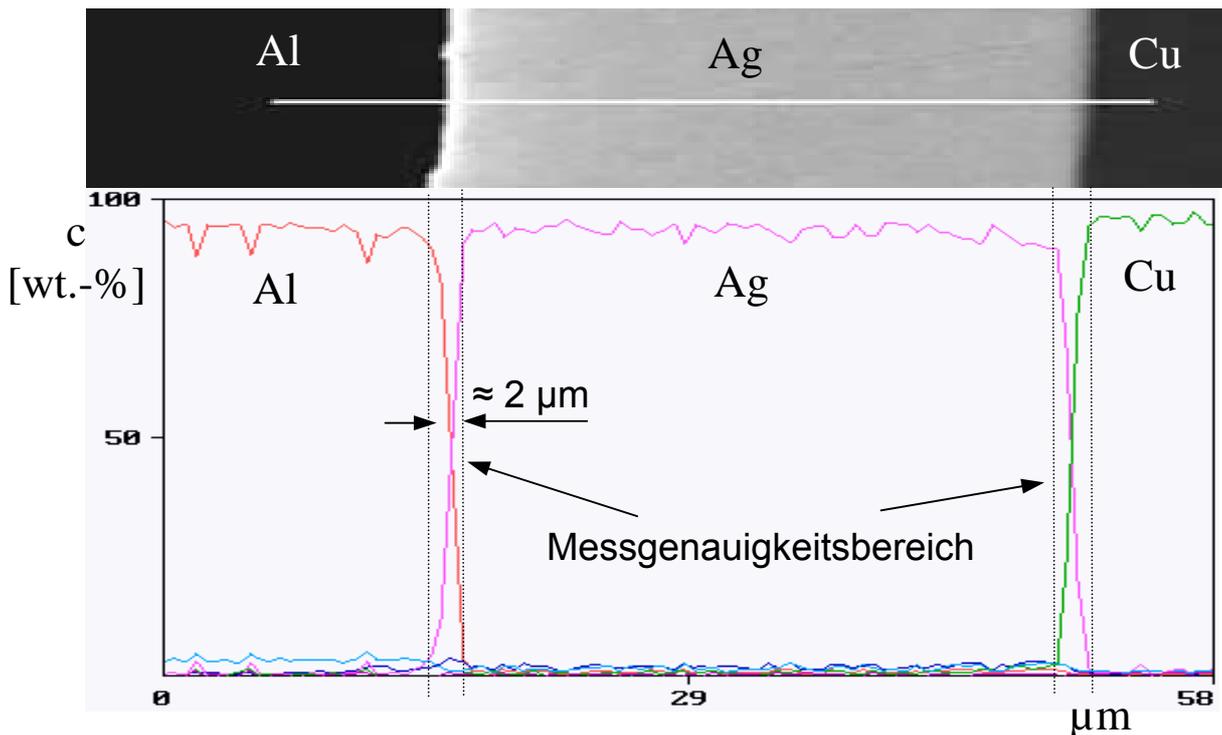


Bild 2: Mikroskopische Aufnahme und die Konzentrationsverteilung von einer aluminium-versilberten Kupfer-Stromschieneverbindung direkt nach der Montage



Nils Lücke, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zum Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen abhängig von der Spannungsrelaxation

Kontaktlamellen zeichnen sich durch vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der steckbaren elektrischen Verbindungen aus. Die Applikationsbeispiele reichen von Steckverbindern in runder oder flacher Form für Hochstromanwendungen bis hin zu Laborsteckern mit kleinsten Abmessungen. Lamellen des Typs LAIA (Bild 1a) bestehen aus einer ausscheidungsgehärteten Kupfer-Beryllium-Legierung, die eine hohe mechanische Festigkeit und sehr gute Federeigenschaften bei relativ hoher elektrischer Leitfähigkeit und hoher Temperatur gewährleistet. Beim Einfedern der Lamelle werden die Übergangsbereiche zwischen den Stegen und dem Lamellenband (Bild 1a) auf Torsion beansprucht. Die dadurch entstehenden mechanischen Spannungen erzeugen eine Kraft, die entgegen der Einfederrichtung wirkt.

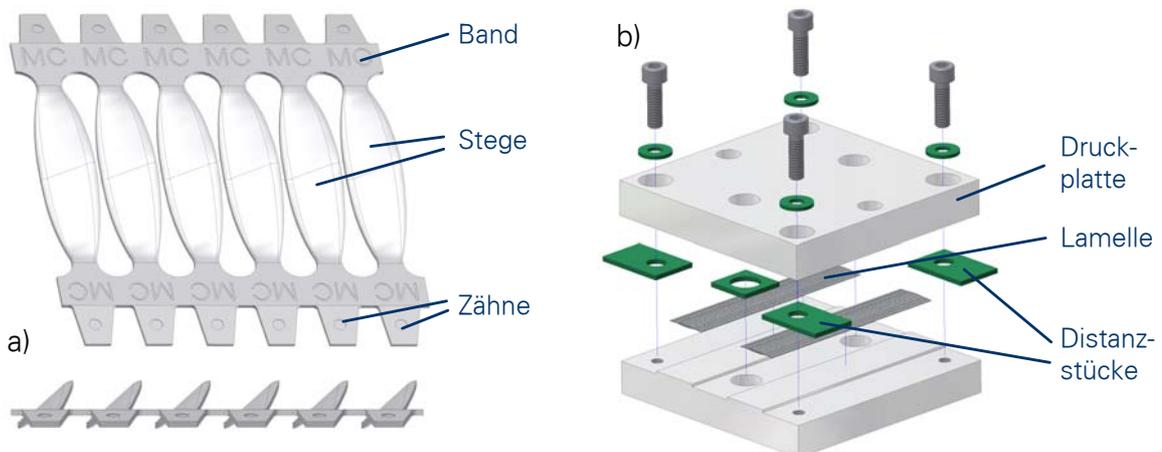


Bild 1: a) CAD-Zeichnung Kontaktlamelle LAIA (Multi-Contact)
b) Modellanordnung für die Langzeitversuche

Hohe mechanische Spannungen und hohe Temperaturen haben eine viskoplastische Verformung der Verbindungselemente zur Folge, die dazu führt, dass die Kontaktkraft mit der Zeit kleiner wird. Dadurch können die Verbindungswiderstände mit der Zeit größer werden, bis es schließlich zum Ausfall der Verbindung kommen kann. Die relaxationsbedingte Alterung elektrischer Verbindungen mit Kontaktlamellen abhängig von der Temperatur und der Zeit kann mit Hilfe eines FE-Modells berechnet und durch Langzeitversuche verifiziert werden (Bild 1b).

Das erforderliche FE-Modell für die Kontaktlamelle LAIA wurde durch gemessene Kraft-Weg-Kennlinien verifiziert. Es konnte festgestellt werden, dass die Reibung zwischen den Stegen der Lamellen und den Flächen der Kontaktträger einen großen Einfluss auf die Kontaktkraft hat. Im FE-Modell können unterschiedliche Randbedingungen in Bezug auf Reibung und Eigenschaften der Kontaktträger berücksichtigt werden. Damit ist es möglich, die verschiedensten praktischen Einsatzfälle der Lamelle nachzubilden. In FEM-Berechnungen mit Materialparametern für CuCo2Be konnte die Abnahme der Kontaktkraft bei verschiedenen Einfedermaßen h_S abhängig von der Zeit bei einer Temperatur von 105 °C ermittelt werden (Bild 2).

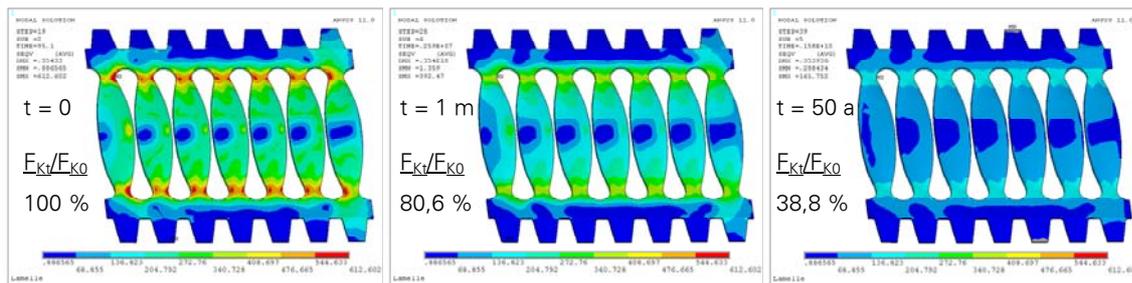


Bild 2: Berechnete Vergleichsspannung abhängig von der Zeit ($\vartheta = 105 \text{ °C}$; Spalthöhe $h_S = 0,92 \text{ mm}$; CuCo2Be)

Die Kontaktlamelle LAIA wird nach der Fertigung ausscheidungsgehärtet, wodurch eine höhere mechanische Festigkeit gegen Relaxationsvorgänge erreicht wird. Durch die ausgeschiedenen kleinen und homogen verteilten Teilchen werden sowohl konventionelle und diffusionsgesteuerte Versetzungsbewegungen behindert als auch Kriechprozesse bei höheren Temperaturen erschwert oder ganz verhindert.

Experimentelle Untersuchungen zum Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kontaktlamellen werden mit Modellanordnungen durchgeführt (Bild 1b). Die Prüflinge werden dabei durch den elektrischen Strom oder im Wärmeschrank auf Temperaturen bis zu 180 °C erwärmt. Die Verbindungswiderstände und die Kontaktkräfte werden abhängig von der Zeit gemessen, um die berechnete Spannungsrelaxation und deren Einfluss auf die Kontaktkraft und damit das Langzeitverhalten der Kontaktlamellen verifizieren zu können.

Forschung

Diplomarbeiten

Seifert, Rico

Alterung von Tulpenkontakten in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen durch Spannungsrelaxation im Federmaterial
DA 04/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. F. Blumenroth)

Schlegel, Stephan

Untersuchungen zur Alterung durch Diffusion von geschraubten Verbindungen
DA 05/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

Lücke, Nils

Langzeitverhalten elektrischer Kupfer-Beryllium-Verbindungen mit Kontaktlamellen abhängig von der Spannungsrelaxation
DA 07/2007 (Betreuer: PD Dr.-Ing. habil. H. Löbl / Dipl.-Ing. F. Blumenroth)

Löser, Reinhard

Untersuchungen zum Verbindungswiderstand von Steckverbindungen für die Niederspannungstechnik
DA 08/2007 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. S. Großmann)

Schult, Stefan

Untersuchung zum Verbindungswiderstand abhängig von der Verbindungskraft an Al- und Cu-Stromschienenverbindungen
DA 02/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

Studienarbeiten

Pfeifer, Stephanie

Interdiffusion bei elektrischen Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen bei Temperaturen bis 180 °C
SA 9/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke)

Vorträge

Löbl, Helmut

Das reale Erwärmungsverhalten von Schaltgeräten in Niederspannungsverteilungen
VWEW-Infotag, Erfurt, 06.03.2008

Löbl, Helmut

Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen

Symposium der ALPHA-Gesellschaft, Neu-Ilseburg, 11.03.2008

Großmann, Steffen

Auswirkungen des Freileitungs-Monitorings auf Befestigungen und Verbindungen

ETP-Konferenz „Freileitungs-Monitoring“, Düsseldorf, 09.04.2008

Löbl, Helmut

Grundlagen zur Berechnung der Erwärmung durch den elektrischen Strom

Vorlesung TU München, 26.05.2008

Löbl, Helmut

Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen

Informationsveranstaltung der SAM, Kassel, 29.05.2008

Blumenroth, Falk

Zum Langzeitverhalten von Steckverbindungen in der Elektroenergie-technik

16. Koll. Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 05.-07.06.2008

Schneider, Ronny

Interdiffusion in Bimetallverbindungen

16. Koll. Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 05.-07.06.2008

Adam, Robert

Verbindungswiderstände in Niederspannungsschaltgeräten

16. Koll. Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 05.-07.06.2008

Berg, Ina

Zusatzverluste in Spiralarmaturen für Freileitungen

16. Koll. Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 05.-07.06.2008

Schneider, Ronny

The effect of interdiffusion on the long term behaviour of Bimetal joints

24th International Conference on Electrical Contacts, Saint-Malo/Frankreich, 09.-12.06.2008

Blumenroth, Falk

Relaxation and Sliding on Long Time Behaviour of Plug-In Power Connectors with Helical Springs

24th International Conference on Electrical Contacts, Saint-Malo/Frankreich, 09.-12.06.2008

Forschung

Großmann, Steffen
Zum Temperatur-Monitoring auf Hochspannungsfreileitungen
RIBE-Symposium, Shanghai/China, 11./12.10.2008

Blumenroth, Falk
Spannungsrelaxation an Kontaktelementen in Steckverbindungen der Elektroenergie-technik
4. Hochschul-Kupfersymposium 2008, München, 05.-06.11.2008

Veröffentlichungen

Berg, I.; Löbl, H.; Großmann, S.; Golletz, F.:
Strombelastbarkeit ausgewählter Betriebsmittel der Energieversorgung abhängig von den Umgebungsbedingungen
10. Symposium Energieinnovation, TU Graz/Österreich, 13.-15.02.2008

Schneider, R.; Löbl, H.; Großmann, S.; Chartouni, D.; Schoenemann, Th.:
The effect of Interdiffusion on the long term behavior of Bimetal Joints
24th International Conference on Electrical Contacts (ICEC), Saint-Malo/
Frankreich, 09.-12.06.2008

Blumenroth, F.; Löbl, H.; Großmann, S.; Kudoke, M.:
Influence of Stress Relaxation and Sliding on Long Time Behaviour of Plug – In Power Connectors with Helical Springs
24th International Conference on Electrical Contacts (ICEC), Saint-Malo/
Frankreich, 09.-12.06.2008

Graber, L.; Thronicker, T.:
Thermal-Network Simulations and Computational Fluid Dynamics for Effective Gas Leakage Detection in SF₆ Switchgear
42th CIGRE Session 2008, Paris/Frankreich, 24.-29.08.2008, Papers A3-105 (CD)

Blumenroth, F.; Löbl, H.; Großmann, S.; Kudoke, M.:
Spannungsrelaxation an Kontaktelementen in Steckverbindungen der Elektroenergie-technik
METALL Internationale Fachzeitschrift für Metallurgie – 62. Jahrgang –
10/2008, Giesel Verlag GmbH Isernhagen, S. 631 – 636

Dissertationen



Solaiman Rahmoon

Elektrisches Verhalten der Windungsisolierung von Öltransformatoren

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schufft
Dr.-Ing. Klaus Eckholz

Bei Öltransformatoren, die in Voltage-Source-Konverterstationen eingesetzt werden, sind die auf die Isolierung einwirkende Belastungen auf Grund der auftretenden Spannungsimpulse mit kleinen Anstiegszeiten um ein Vielfaches höher als bei rein sinusförmiger Wechselspannung. Diese können damit zu Isolationsschäden, besonders an der Windungsisolierung der Spulen, führen. Teilentladungen können in Hochspannungsisolierungen bei ständiger Einwirkung zur Zerstörungen der organischen Isolierstoffe und damit zu Änderungen im Lebensdauerverhalten führen. Da das TE-Verhalten der Windungsisolierung weitestgehend unbekannt ist, wurde untersucht, ob und ab welcher Spannung Teilentladungen an den Windungsisolierungen auftreten können. Deshalb wurden Versuche an der typischen Modellanordnung der Windungsisolierung „isolierte Drähte gegeneinander“ durchgeführt.

Das TE-Verhalten bei Spannungssteigerungsversuchen wurde zunächst an papierisolierten Drähten, die typischerweise in Öltransformatoren eingesetzt werden, ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass die TE in einem größeren Spannungsbereich vor dem Durchschlag auftreten (Bild 1a).

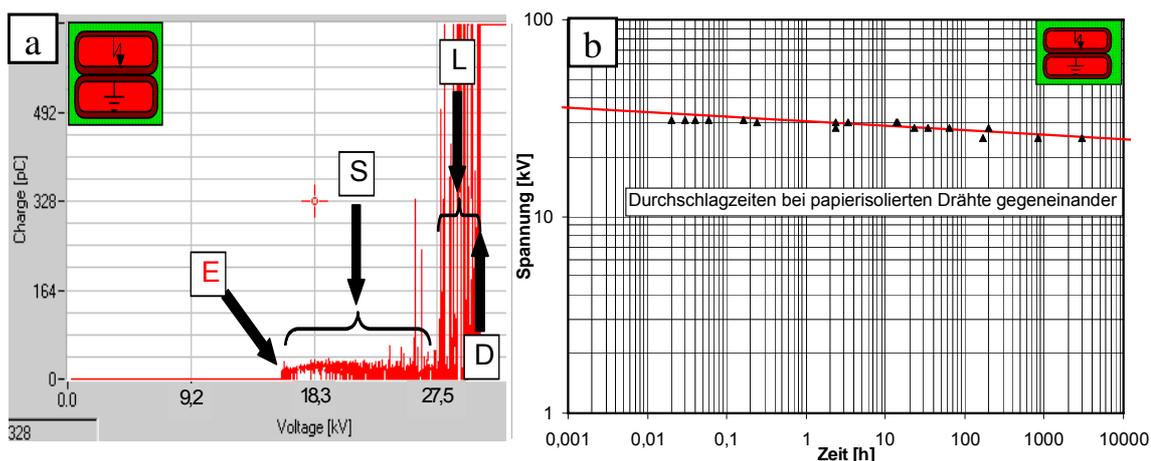


Bild 1: Teilentladungscharakteristik (a) und Lebensdauerkennlinie (b) der Modellanordnung „papierisolierte Drähte gegeneinander“

Die TE-Einsatzspannung (E) beträgt ca. 65 % der Durchschlagspannung. Die Streamerentladungen (Bereich S) bleiben trotz weiterer Spannungsstei-

gerung in einem konstanten Bereich von ca. 50 pC. Erreicht die Spannung einen Wert von ca. 85 % der Durchschlagspannung, zünden die Leaderentladungen im Öl-Zwickel (Bereich L) und führen in kurzer Zeit durch Zerstörung der Papierschichten zum Durchschlag (D).

Darüber hinaus wurden Lebensdauerersuche durchgeführt. Die Spannungsstufen für die Langzeitbeanspruchung wurden knapp unter dem ermittelten Mittelwert der Durchschlagspannungen im Spannungssteigerungsversuch gewählt. Im Bild 1b sind die Durchschlagzeiten und die daraus geschätzten Lebensdauer kennlinien dargestellt. Die ermittelten Lebensdauerexponenten waren sehr groß. D. h. trotz der TE-Zündung weit unter der Durchschlagspannung ist fast keine Alterung nachweisbar.

Bei lackisolierten Drähte beträgt die TE-Einsatzspannung (E) nur ca. 10 % der Durchschlagspannung (Bild 2a). Diese sehr kleine TE-Einsatzspannung wurde auf abgeschlossene Gasblasen zurückgeführt, die bei der Montage der lackisolierten Drähte gegeneinander zwischen den Drähten entstehen können. Die Ladungen im Bereich G steigen leicht mit dem Spannungsanstieg an. Im großen Bereich S zünden sowohl Entladungen in Gaseinschlüssen als auch zusätzlich Streamerentladungen in ölgefüllten Hohlräumen und im Öl-Zwickel. Diese Streamerentladungen führen zu lokalen, irreversiblen Schäden der Lackschichten, was zu einem plötzlichen Durchschlag (D) bei erster Leaderzündung (L) führen kann.

Die ermittelten Lebensdauer kennlinien (Bild 2b) bei Lackisolierung sind im Vergleich zu Papierisolierung sehr viel steiler. Das bedeutet, dass die TE zur deutlichen Alterung bei der Lackisolierung führen können.

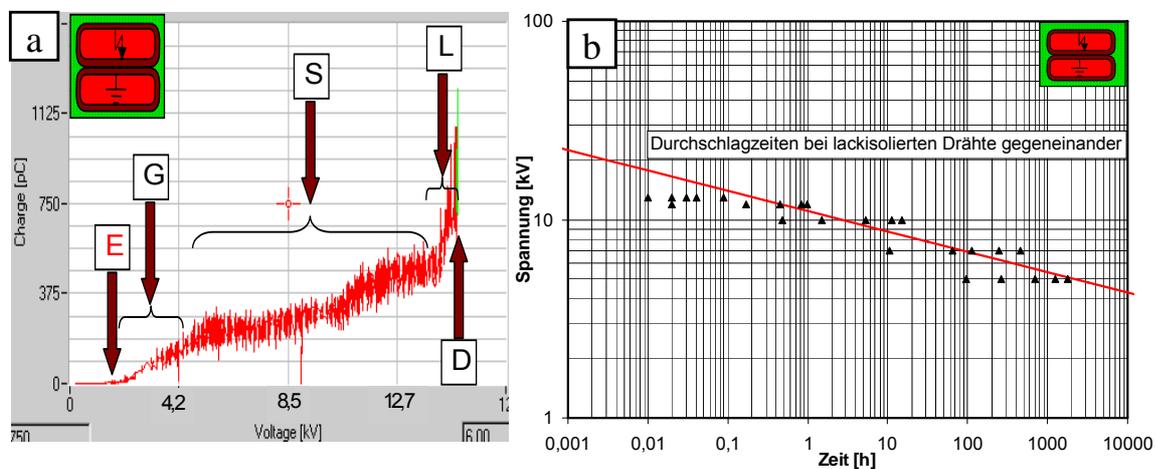


Bild 2: Teilentladungscharakteristik (a) und Lebensdauer kennlinie (b) der Modellanordnung „lackisolierte Drähte gegeneinander“

Bei erhöhten Öltemperaturen wurde die Durchschlagspannung bei beiden festen Isolierstoffen leicht beeinflusst. Die höchsten Werte treten im Öltemperaturbereich von 60 bis 75 °C auf. Die Teilentladungen wurden jedoch bei höheren Öltemperaturen intensiver, wodurch das Lebensdauerverhalten verschlechtert wurde.

Veranstaltungen

Tag der Fakultät – HIGHVOLT-Preis für Herrn Dipl.-Ing. Nils Lücke

Erstmalig 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. Dieser Preis wird anlässlich des Tages der Fakultät öffentlich überreicht.

In diesem Jahr konnte der Entwicklungsleiter von HIGHVOLT, Herr Steiner, den Preis an Herrn Dipl.-Ing. Nils Lücke für seine am IEEH entstandene, ausgezeichnete Diplomarbeit zum Thema: „Langzeitverhalten elektrischer Kupfer-Beryllium-Verbindungen mit Kontaktlamellen abhängig von der Spannungsrelaxation“ überreichen. Wir gratulieren Herrn Lücke recht herzlich.



Foto: Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dresden

Übergabe des HIGHVOLT-Preises zum Tag der Fakultät

Kolloquium anlässlich des 65. Geburtstages von Doz. Dr.-Ing. H. Bauer

Aus Anlass des 65. Geburtstages von Herrn Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer fand am 28.03.2008 am Institut ein wissenschaftliches Kolloquium statt. Zu Beginn würdigte der Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Herr Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner, die wissenschaftlichen Leistungen in Lehre und Forschung von Herrn Bauer als Assistent, wiss. Oberassistent und Hochschullehrer. Beispielhaft wurde auf seine Mitarbeit an Fachbüchern und Lehrbriefen, an die mehr als 130 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Tagungsbänden, an die über 70 Vorträge auf Fachtagungen und an die mehr als 150 Institutsberichte zu jeweils aktuellen Forschungsthemen verwiesen.

Daran schlossen sich Vorträge seiner Schüler und Mitarbeiter an:

*Herr Dr.-Ing. Gert **Hentschel***, AREVA Energietechnik GmbH Dresden: "Schaltanlagenbau vor neuen Anforderungen",

*Herr Dipl.-Ing. Thoralf **Bohn***, BDEW Berlin: "Aktuelle Herausforderungen für die Netzbetreiber",

*Herr Dipl.-Ing. Gunter **Langer***, Langer EMV GmbH Bannewitz: "Entwicklungstrends der EMV" und

*Herr Dipl.-Ing. Christian **Henze***, TU Dresden, IEEH: "Feldberechnung für 26. BlmSchV, BGV B11, EMV und für die Sicherheit von Baumaschinen".

Als angenehm empfanden die ca. 100 Teilnehmer, dass die Hochspannungshalle des Instituts als Rahmen für die Veranstaltung gewählt wurde. Für die Ausgestaltung der Halle wurde von *Herrn Gunter **Langer*** eine Auswahl seiner Zeichnungen als Leihgaben zur Verfügung gestellt.



Zeichnungen von G. Langer



Gäste in der Hochspannungshalle des IEEH

Ein kultureller Höhepunkt des Kolloquiums war der Vortrag "Zur Farbfindung bei der Innenausmalung der Dresdner Frauenkirche" von *Herrn Peter **Taubert***, Freier Restaurator und Künstlerischer und farbtechnologischer Oberleiter für die Innenausmalung der Frauenkirche.

Beim anschließenden Gedankenaustausch der Gäste sorgte das "Schützenhaus" Pulsnitz in bewährter Weise für eine ausgezeichnete Bewirtung.

Projekttag Freiberg am 01.04.2008

Kein Aprilscherz – war der Besuch des Instituts in der Bergstadt Freiberg. Als erstes führte uns ein Fußmarsch vom Bahnhof zum Unternehmen „Deutsche Solar AG“. In einer Präsentation bekamen wir einen Einblick in die Struktur des Unternehmens und wichtige Schritte des Fertigungsprozesses. Im Anschluss wurde über den Sinn und Unsinn von Fotovoltaikanlagen diskutiert. Danach führten uns Mitarbeiter der Deutschen Solar AG in zwei Gruppen durch ausgewählte Abschnitte des Herstellungsprozesses. Es war beispielsweise möglich, beim Aufbringen der Anschlusskontakte auf die Solarzellen und beim Fertigstellen von Solarmodulen zuzuschauen.



Nach einer Mittagspause im historischen Schwanenschlößchen führte uns der „Herold zu Freiberg“ durch den Stadtkern. Beginnend am Schloss Freudenstein begleitete uns der Stadtführer zum Dom und dem Untermarkt. Entlang kleiner Gassen bewegten wir uns zum Donatsturm an der historischen Stadtbefestigung und endeten am Obermarkt. Während des Rundgangs lernten wir einiges über die Geschichte der Stadt und den Silberbergbau. Wissenslücken des Stadtführers konnte Prof. Winkler mit fundierten Geschichtskennntnissen füllen.

„Power“-Grill am 28.05.2008

Schon fast als Tradition zu bezeichnen ist das alljährlich stattfindende „Power“-Grillen. Auch in diesen Jahren luden wir wieder interessierte Studenten ein, gemeinsam mit den Hochschullehren und Mitarbeitern des Elektrotechnischen Instituts (ETI) und des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) zu grillen. Vor allem für Studenten des vierten Semesters bietet sich dadurch die Möglichkeit, Anregungen bezüglich des bevorstehenden Hauptstudiums zu bekommen und Fragen zu stellen. Zudem bieten wir zu diesem Anlass den zukünftigen Ingenieuren die Möglichkeit, unsere Laborräume und die Hochspannungshalle zu besichtigen, um einen Eindruck zu bekommen, mit welchen Problemen der Energietechnik wir uns aktuell beschäftigen. Gleichzeitig bekommen die Studenten einen Einblick in die Praktikumsversuche des Hauptstudiums.

Die aufgelockerte Atmosphäre ist dabei Grundlage für das Entstehen guter Kontakte zwischen den Studenten und den Lehrenden, was an unserem Institut schon immer die Basis für eine gute Zusammenarbeit darstellt.



Anregende Gespräche in gemütlicher Runde

Schnupperstudium für einen Tag am 10.01.2008

Uni-Tag am 31.05.2008

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

Firmenpräsentationen

Nicht nur das Interesse an modernen Produkten der Energietechnik sondern auch der gestiegene Bedarf an Hochschulabsolventen der Elektrotechnik führte Firmen der Branche mit Mitarbeitern und Studenten des IEEH in diesem Jahr häufig zusammen.

Am 17.04.2008 erfolgte auf dem Betriebsgelände von ABB in Dresden eine Produkt-Präsentation neuester ABB-Betriebsmittel für Hochspannungsnetze.

Die „OMICRON-Roadshow“ machte am 20.05.2008 einen Stopp an der TU Dresden. Interessierten Studenten und Mitarbeitern des Instituts wurde in einer Präsentation die Firma als Arbeitgeber und Hersteller moderner Messelektronik für die Energieversorgung vorgestellt. Eine praktische Vorführung aktueller Teilentladungs-Messtechnik rundete die Firmenvorstellung ab.

Der ortsansässige Hersteller von Hochspannungs-Prüftechnik HIGHVOLT lud Studenten und Mitarbeiter des IEEH am 07.07.2008 auf ihr Firmengelände ein. Die Vorstellung der Firma begann mit der Darstellung der typischen Arbeitsfelder für Ingenieure in diesem global arbeitenden Unternehmen und schloss mit einer Werksführung ab. Die Veranstaltung wurde von ehemaligen Studenten und Assistenten des IEEH durchgeführt, die als Vertreter von HIGHVOLT den Besuchern für Fragen zur Verfügung standen.

Exkursionen

VDE-Exkursion vom 13.-17.05.2008

In der Woche nach Pfingsten wurde die schon traditionelle VDE-Exkursion der Elektrotechnik durchgeführt. Prof. Pundt hatte wieder ein interessantes Programm zusammengestellt. Nachstehenden Objekte wurden besucht:

- Fa. Bender Grünberg (NS-Netzschutztechnik)
- VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut in Offenbach
- Europäisches Satelliten-Kontrollzentrum ESOC in Darmstadt
- Steinkohlen-KW Staudinger
- SF6-Schaltanlagenfabrik von ABB in Großauheim
- MS-Schaltanlagenwerk von Siemens Frankfur/Main
- Opelwerk Rüsselsheim
- Treffen mit Absolventen bei Siemens in Erlangen

Folgende weitere Exkursionen wurden durchgeführt:

- Exkursionen zur DREWAG ins Gasturbinen-Heizkraftwerk Nossener Brücke mit Studenten der Fakultäten Maschinenwesen und Wirtschaftsingenieurwesen (3. Semester) im Januar 2008
- VDE-Exkursion zur CeBit nach Hannover am 08.03.2008
- VDE-Exkursion zur Industriemesse nach Hannover am 22.04.2008
- Betriebsführung bei Highvolt Prüftechnik Dresden GmbH am 07.07.2008
- Stahl- und Walzwerk Riesa am 17.07.2008
- Schaltleitung der ENSO in Heidenau (Netzleittechnik) und 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd (Stationsleittechnik) am 06.06.2008
- 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd (Feldmessungen) am 27.06. + 11.07.2008



Besichtigung der Schaltleitung von ENSO



Feldmessungen im UW Dresden

Besuch von Studenten aus Taschkent

Eine Gruppe von Studenten aus der Staatlichen Technischen Universität Taschkent besuchte am 13.06.2008 die TU Dresden. Die Gruppe bestand aus 15 Studierenden der Energietechnik in Begleitung Ihres Hochschullehrers Prof. Dr. Bobojanov. Der Besuch an der TU Dresden war ein Teil ihrer Studienreise, auf der sie auch andere deutsche Technische Universitäten besuchten. Diese Studienreise wurde vom DAAD finanziert und organisiert. Großes Interesse der Studierenden galt der Besuch des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) sowie der Hochspannungshalle. Außerdem wollten sie das Elektrotechnische Institut (ETI) besichtigen und Prof. Dr.-Ing. habil. G. Müller kennenlernen. Das Buch „Elektrische Maschinen“ von Prof. G. Müller benutzen die Studenten in ihrem Studium.

Deshalb wurde von den Mitarbeitern vom IEEH und ETI folgendes Programm vorbereitet und durchgeführt:

1. Vorstellung der TU Dresden und des IEEH
2. Lehre und Forschung am IEEH
3. Führung durch die Hochspannungshalle und Versuchsräume
4. Vorführung von Experimenten in der Hochspannungshalle
5. Besuch des ETI und Begegnung mit Prof. Dr.-Ing. habil. G. Müller



Studentengruppe aus Taschkent (Usbekistan)

16. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik 05.-07.06.2008 in München

Dieses Jahr fand das traditionelle Kolloquium in München statt. Neben unserer Universität waren auch wieder wissenschaftliche Mitarbeiter und Professoren der TU Ilmenau, der TU München, der HS Zittau/Görlitz und der TU Darmstadt beteiligt.

Die Mitarbeiter der einzelnen Hochschulen hatten an zwei Tagen die Möglichkeit über ihre Forschungsarbeiten auf den Gebieten der Isolierstoffe, der Schaltgeräte, der Varistoren, der elektrischen Verbindungen und Anlagen zu berichten und diese zu diskutieren.

Nach den Beiträgen des ersten Tages des 16. Kolloquiums wurde am Nachmittag die Residenz München mit einer Führung besucht. Anschließend daran stellten uns die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Lehrstuhls für Hochspannungs- und Anlagentechnik ihre Laborräume vor.

Das Kolloquium bietet die Möglichkeit zum fachlichen Gedankenaustausch der Mitarbeiter und stärkt die Beziehungen zwischen den beteiligten Universitäten.

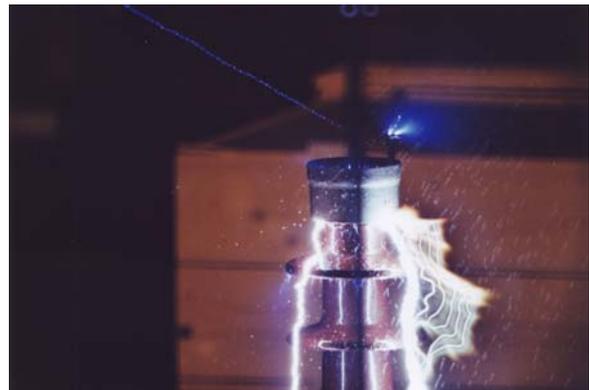
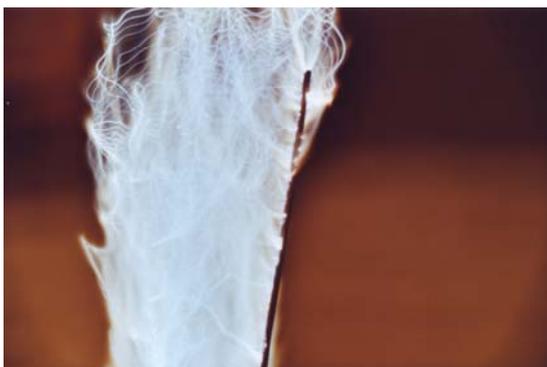


Vorstellung eines Versuchsstandes am Lehrstuhl für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München

Lange Nacht der Wissenschaften am 04.07.2008

Das Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik beteiligte sich auch in diesem Jahr mit einem mehrmalig wiederholten einstündigen Experimentalvortrag in der Hochspannungshalle an den Veranstaltungen zur „Langen Nacht der Wissenschaften“ in der Stadt Dresden. Dabei wurden nicht nur optisch ansprechende und akustisch sehr gut wahrnehmbare Effekte der Hochspannungs- und Hochstromtechnik gezeigt, sondern auch auf deren physikalischen Hintergründe und technische Anwendungen eingegangen. Gezeigt wurden z. B. Blitzentladungen, Lichtbogenentstehung und -wanderung, diverse Überschläge an Betriebsmitteln der Elektroenergietechnik und die verschiedenen Wirkungen elektrischer Energie auf die Umgebung (Elektrofilter für Rauch, Bewegung und Lumineszenz).

Wie in den vergangenen Jahren erweist sich diese Veranstaltung als Besuchermagnet, dem in diesem Jahr mehr als 500 Besucher gefolgt sind und bei der immer noch nicht alle Interessenten teilnehmen konnten.



Fotos: Thomas Jordan

Assistentenausflug der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik vom 11. - 13.07.2008 in die Sächsische Schweiz

Traditionsgemäß führte das jährlich stattfindende gemeinsame Wochenende aller Mitarbeiter des Lehrstuhls für Hochspannungs- und Hochstromtechnik und ihrer Angehörigen in die Heimat eines wissenschaftlichen Assistenten der Professur. Dieses Jahr mit dem Ziel Pirna und die Sächsische Schweiz.

Begonnen wurde mit einer Stadtführung durch das mittelalterliche Pirna, dem Tor zur Sächsischen Schweiz. Bei einem Streifzug über den Markt, durch die traditionellen Handwerkergerassen, durch die Gewölbe der Pirnaer Stadtbibliothek und durch die verschiedensten Innenhöfe der Handelshäuser wurde viel Wissenswertes über die Geschichte dieser Stadt berichtet.

Nach diesem kulturellen Programmpunkt führte uns der Weg hinein in die Sächsische Schweiz in das Örtchen Papstsdorf, wo wir im Erblehngericht Quartier fanden.

Der Sonnabend stand ganz im Zeichen des Wanderns. Das erste Ziel war der 371 m hohe Kohlbornstein, auf dem sich ein guter Rundblick über diesen Teil der Sächsischen Schweiz darbot. Bei nicht durchgängig trockenem Wetter ging es dann zum Mittagmahl in die Liethenmühle. Nach ausreichender Stärkung lenkten wir unsere Schritte zum Kleinhennersdorfer Stein, auf dem wir die verschiedenen Höhlen erforschten. Zur Belohnung wurde am Nachmittag noch der Papststein erklimmt. Beim abendlichen Grillen fand der Tag einen erholsamen Ausklang.

Abgeschlossen wurde der diesjährige Assistentenausflug bei einer Führung durch das Landschloss Zuschendorf bei Pirna, das in seinen Gärten die Botanischen Sammlungen beherbergt.



Marktplatz Pirna



Botanische Sammlungen Zuschendorf

Öffentlichkeitsarbeit

Auch in diesem Jahr wurden neben den bereits oben genannten Veranstaltungen Experimentalvorträge für Schüler von Gymnasien aus Dresden und Umgebung durchgeführt sowie Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen z. B. für die ENSO Dresden, die EnBW, LTB, die Feuerwehr, Polizeischule, HIGHVOLT, TU Chemnitz. Auch für die Regionalkonferenz Wissens- und Technologietransfer mit Rektor, GWT, SZ und für den MDR wurde die Hochspannungshalle zur Verfügung gestellt und dabei einige Experimente vorgeführt.

Weiterbildung

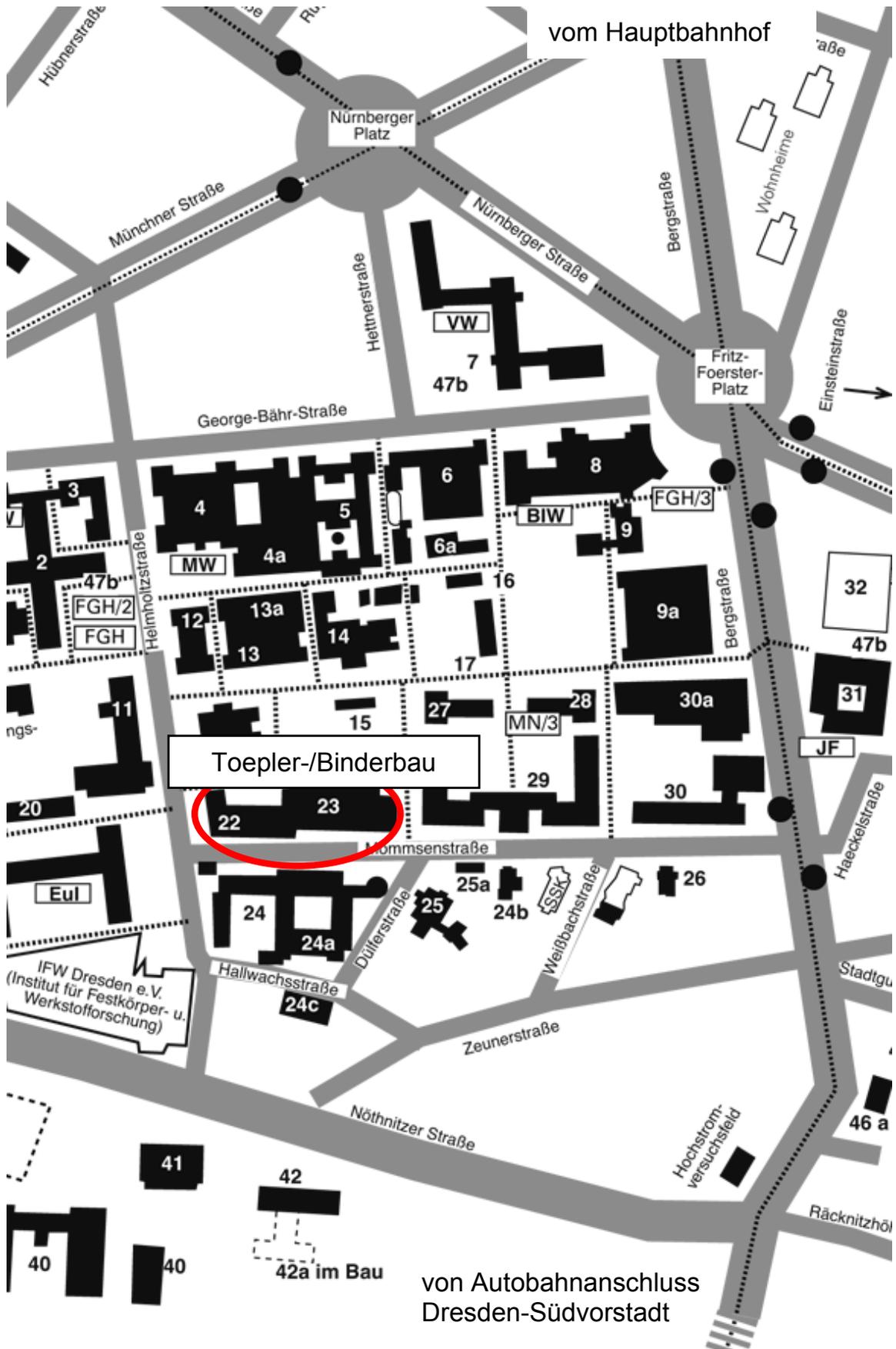
PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl und Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann waren im März und November 2008 als Dozenten bei der Ausbildung zum akkreditierten Elektrothermografen des Verbandes der Schadensversicherer VdS tätig.

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl war vom 23.07. bis 24.07.2008 als Dozent bei der Ausbildung zu „Infrarotdiagnose an Verbindungen der Elektroenergietechnik“ für das Haus der Technik in Essen tätig.

Dipl.-Ing. Thomas Jordan war als Referent bei der Ausbildung von Monteuren für das MS-Überbrückungssystem und für das Seminar „Gefährdungsanalyse“ für das BSD Bildungs- und Servicezentrum GmbH in Großröhrsdorf tätig.

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 den **Buslinien 72** (Richtung Coschütz) und **76** (Richtung 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)