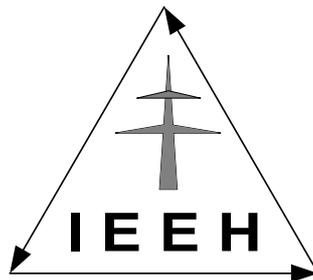




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Jahresbericht 2004



**Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik**

Postanschrift:
Technische Universität Dresden
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik
01062 Dresden

Besucheranschrift:
Mommsenstraße 10
Binderbau
01069 Dresden

Telefon: (03 51) 4 63-3 43 74/-3 34 28
Telefax: (03 51) 4 63-3 70 36/-3 71 57
e-mail: info@ieeh.et.tu-dresden.de
Internet: <http://www.tu-dresden.de/etieeh/>

Jahresbericht 2004

	Seite
Vorwort	2
1 Personelle Besetzung	4
2 Lehre	6
2.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika	6
2.2 Exkursionen	8
2.3 Diplomarbeiten	8
2.4 Studienarbeiten	9
3 Forschung	10
3.1 Kurzberichte aus laufenden Forschungsarbeiten	10
3.2 Dissertationen	28
3.3 Veröffentlichungen	36
3.4 Vorträge	38
4 Externe Aktivitäten und Kontakte	39
4.1 Teilnahme an Fachtagungen und Kolloquien	39
4.2 Veranstaltungen des Instituts	40
4.3 Weiterbildung	41
4.4 Mitarbeit in Gremien	42
5 Prüf-, Mess- und Labortechnik des Instituts	44

Sehr geehrte Freunde
des Instituts für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik,

im Mai 2004 wurde das Richtfest für die zweite Chip-Fabrik von AMD in Dresden gefeiert. Hierdurch hat sich Dresden zum bedeutendsten Standort für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa entwickelt. Wesentliche Gründe von AMD sich für Dresden zu entscheiden, waren neben den sehr guten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auch das große wissenschaftliche Potential auf dem Fachgebiet der Elektrotechnik an der TU Dresden. Durch weitere Kooperationen zwischen AMD und der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik wird unsere internationale Reputation weiter steigen. Dies hat durchaus auch auf nicht unmittelbar betroffene Fachrichtungen wie z. B. die Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik sehr positive Auswirkungen.

Die Umbau- und Instandsetzungsmaßnahmen haben am Institut im vergangenen Jahr erhebliche Fortschritte gemacht. So konnte der Umzug des „Dynamischen-Drehstrom-Demonstrationsmodells“ abgeschlossen und die ersten Versuche im Hochstromversuchsfeld wieder in Betrieb genommen werden. Darüber hinaus wurden Mitarbeiterräume renoviert und mit neuen Möbeln ausgestattet. Die Beregnungsanlage in der Hochspannungshalle wurde deutlich erweitert und modernisiert. Hierdurch können in Zukunft auch sehr große Prüflinge normgerecht beregnet werden. Im Jahr 2005 soll der größte Teil der Mitarbeiter des Lehrstuhles für Elektroenergieversorgung in den Toeplerbau umziehen.

Die Immatrikulationszahlen haben sich an der Fakultät, entgegen dem Trend an anderen Elektrotechnischen Fakultäten, weiterhin positiv entwickelt. In Summe wurden im Wintersemester 2004/2005 580 Studenten neu immatrikuliert. Damit wurde die bereits schon sehr hohe Immatrikulationszahl des Vorjahres übertroffen. Insgesamt studieren damit an der Fakultät 2.250 Studenten.

Wie im Vorjahr haben sich wieder ca. 20 Studenten im 5. Semester für die Vertiefungsrichtung Elektroenergietechnik entschieden. Der Bedarf an Ingenieuren auf diesem Fachgebiet ist immer noch sehr hoch. Die im letzten Jahr beschriebenen Probleme, geeignete Absolventen für die Bearbeitung von Forschungsthemen zu finden, sind nach wie vor akut.

Als besondere akademische Ereignisse des vergangenen Jahres sind die vom Institut organisierten Kolloquien zum 75. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt und das Ehrenkolloquium zum 100. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Fritz Obenaus zu nennen. Beide Veranstaltungen hatten eine sehr positive Resonanz. An dieser Stelle bedanke ich mich daher nochmals bei den vielen Helfern, insbesondere bei den nach wie vor noch sehr aktiven Ehemaligen des Institutes, für ihre tatkräftige Unterstützung. Sie haben entscheidend dazu beigetragen, dass die Veranstaltungen so erfolgreich waren.

Das 9. Assistententreffen der Hochspannungstechnik war wieder mit 186 Teilnehmern sehr gut besucht. Dies zeigt die nach wie vor enge Verbundenheit der Ehemaligen mit „ihrem“ Institut. Ich bin überzeugt, dass dieses Netzwerk für beide Seiten eine Vielzahl positive Aspekte besitzt. Daher planen wir, im Jahr 2005 das 1. Treffen der Ehemaligen der Energieversorgung durchzuführen.

Im vergangenen Jahr fand das „12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik“ statt. Diese Veranstaltung wurde unter der Leitung von Prof. Großmann von der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik unseres Institutes in Dresden organisiert. Der „Dresdner Kreis“, ein wissenschaftliches Energieversorgungskolloquium wurde im letzten Jahr ebenfalls in Dresden durchgeführt. Die Möglichkeit zur Diskussion zwischen den Assistenten verschiedener Universitäten wurde intensiv genutzt.

Im Jahr 2005 wird die Fachtagung „Arbeiten unter Spannung“ unter wesentlicher Beteiligung des Institutes erneut an der TU Dresden durchgeführt. Darüber hinaus werden im Hörsaalzentrum der TU Dresden die ETG-Tage 2005 ausgerichtet, die vom Institut mit betreut werden.

Herr Prof. Dr.-Ing. Großmann hat im Dezember 2004 die Leitung des Institutes übernommen. Ich wünsche ihm für diese Aufgabe viel Erfolg und kreative Ideen.

Diesen Jahresbericht nehme ich zum Anlass, allen Kolleginnen und Kollegen des Institutes für ihre tatkräftige Mitarbeit im vergangenen Jahr zu danken.

Abschließend danke ich allen unseren Forschungspartnern für ihre großzügige Unterstützung und hoffe, dass sie auch weiterhin unsere wissenschaftliche Arbeit fördern.

Ich hoffe, dass dieser Jahresbericht dazu beiträgt, die bestehenden Zusammenarbeiten auszubauen und Ansätze für neue Kooperationen zu schaffen.

Dresden, im Dezember 2004



Prof. Dr.-Ing. P. Schegner
Direktor des Institutes für
Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

1 Personelle Besetzung

		Tel.-Nr.
Professoren	Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner (Institutsdirektor)	34374
	Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann	33428
Emeriti	Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Eberhardt	
	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt	34574
	Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler	35088
Sekretariate	Regina Scharf	33202
	Rotraud Riester (bis 31.08.04)	33428
	Ulrike Hendrich (ab 01.10.04)	33428
Wiss. Mitarbeiter	Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer (Hochschullehrer)	35104
	Dr.-Ing. Eberhard Engelmann (Laborleiter)	33103
	Dr.-Ing. Karl-Heinz Freytag (bis 31.07.04)	33413
	PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl	32138
	Dr.-Ing. Franz Mach	35336
	Dr.-Ing. Jan Meyer	35102
	Dr.-Ing. Joachim Speck	33105
	Dipl.-Ing. Ina Berg (ab 15.01.04)	33080
	Dipl.-Ing. Thoralf Bohn (bis 31.08.04)	35353
	Dipl.-Ing. Christoph Gramsch	33080
	Dipl.-Ing. Sven Höpfner	35353
	Dipl.-Ing. Mario Jochim	34756
	Dipl.-Ing. Thomas Jordan (ab 15.11.04)	34948
	Dipl.-Ing. Thomas Kafurke (ab 15.07.04)	32746
	Dipl.-Ing. Rainer Luxenburger	35223
	Dipl.-Ing. Tomasz Magier	32746
	Dipl.-Ing. Irina Ovsyanko (ab 20.09.04)	34789
	Dipl.-Ing. Georg Pilz	35272
	Dipl.-Ing. Solaiman Rahmoon	34948
	Dipl.-Ing. Ralph-Peter Schulz (bis 29.02.04)	32941
Dipl.-Ing. Tatjana Werner (27.02.-31.10.04)	34756	
Kollegiaten	Ing. Piergiovanni La Seta	35272
	Dipl.-Ing. Peter Vlcek	35223
Techn. Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres	32613
	Dipl.-Ing. Rainer Luther	35222
	Monika Markow	32214

Werkstatt	Ralf Dittrich	34745
	Michael Gläser	34260
	Daniel Hoppe (23.02.-22.08.04)	34260
	Gerd Jaroszinsky	34745
	Helge Knüpfel	34260
	Peter Wermuth	33516
	Falk Wolf	33729
Gastwissenschaftler	Prof. Lobos, TU Wroclaw/Polen (01.07.-30.09.2004)	

2 Lehre

2.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika

Vorlesung	SS V / Ü / P	WS V / Ü / P
Elektroenergietechnik Prof. Dr.-Ing. P. Schegner	0 / 0 / 1	2 / 1 / 0
Elektroenergiesysteme Prof. Dr.-Ing. P. Schegner		3 / 2 / 1
Elektroenergieanlagen Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler	2 / 1 / 0	
Hochspannungstechnik 1 Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Dr.-Ing. J. Speck	0 / 0 / 2	2 / 1 / 0
Hochspannungstechnik 2 Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Privatdozent Dr.-Ing. habil. H. Löbl / Dr.-Ing. J. Speck / Dr.-Ing. E. Engelmann	2 / 1 / 0	0 / 0 / 1
Hochspannungs-Isoliertechnik Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Dr.-Ing. E. Engelmann		2 / 0 / 0
Hochstromtechnik Privatdozent Dr.-Ing. habil. H. Löbl		2 / 1 / 1
Hochspannungsgeräte Privatdozent Dr.-Ing. habil. H. Löbl	2 / 0 / 1	
Hochspannungs-Prüf- und Messtechnik Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Dr.-Ing. E. Engelmann		2 / 0 / 1
Blitzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Dr.-Ing. E. Engelmann	1 / 0 / 0	
Statistik für Elektrotechniker Prof. Dr.-Ing. S. Großmann / Dr.-Ing. J. Speck	2 / 0 / 1	
Netzberechnung Prof. Dr.-Ing. P. Schegner		2 / 2 / 0
Netzbetrieb Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler	0 / 0 / 1	2 / 0 / 0
Rationelle Energieanwendung Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler	2 / 0 / 0	
Netzschutz- und Leittechnik Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Doz. Dr.-Ing. H. Bauer	3 / 1 / 1	
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung Doz. Dr.-Ing. H. Bauer	1 / 1 / 0	

Vorlesung	SS V / Ü / P	WS V / Ü / P
Elektroanlagenprojektierung Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dr.-Ing. F. Mach		1 / 2 / 1
Elektrotechnik 1 für Fakultäten Wirtschaftswissenschaften und Maschinenwesen Prof. Dr.-Ing. S. Großmann	2 / 1 / 0	
Elektrotechnik 2 für Fakultäten Wirtschaftswissenschaften und Maschinenwesen Prof. Dr.-Ing. S. Großmann		2 / 1 / 0
Hochspannungstechnik für Wirtschafts- und Verkehrsingenieure Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dr.-Ing. J. Speck		2 / 1 / 1
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbildenden Schulen Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler		2 / 1 / 1
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieurwesen Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler		2 / 0 / 1
Elektronische Gerätetechnik / Thermische Dimensio- nierung Privatdozent Dr.-Ing. habil. H. Löbl (Diese Vorlesung wird gemeinsam von Herrn Prof. J. Lienig und PD Dr. H. Löbl gehalten.)		2 / 0 / 0
Elektrische und magnetische Felder in der Nähe von Elektroenergieanlagen Studium generale und Dresdner Bürger-Universität Doz. Dr.-Ing. H. Bauer	1 / 0 / 1	
Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektro- energie Studium generale und Dresdner Bürger-Universität Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Doz. Dr.-Ing. H. Bauer / Dr.-Ing. K.-H. Freytag	2 / 0 / 0	
Grundlagen der Elektrotechnik für Studiengang „Informatik“ Doz. Dr.-Ing. H. Bauer		2 / 1 / 0

2.2 Exkursionen

Exkursionen mit den Studenten des Studienschwerpunktes Elektroenergieversorgung und Hochspannungstechnik zu folgenden Firmen:

16.01.2004	Transformatorenwerk Siemens AG, Dresden
31.01.2004	Kraftwerk Schwarze Pumpe/Zentralstellwerk der LAUBAG
21.03.2004	CeBIT Hannover
24.04.2004	Hannover Messe Industrie
01.-05.06.2004	Große Exkursion: VDO Automotive AG Regensburg; Donau-Kraftwerk Freudenau; UW Süd/Südost Wien; UNO-City Wien; Stahlwerk Vöest Alpine Linz; Trench Austria Linz; Siemens AG Erlangen
15.06.2004	Stahl- und Walzwerk Riesa
16.06.2004	Vattenfall Europe Transmission GmbH, Netzbetrieb Sachsen, Dresden
22.06.2004	Pumpspeicherwerk Goldistal
06.07.2004	AREVA Dresden

2.3 Diplomarbeiten

Werner, T.: Untersuchungen zur Dimensionierung passiver Kühlelemente für Hochspannungsanlagen

DA 03/2003 (Betreuer: PD Dr.-Ing. habil. H. Löbl)

Grecksch, S.: Entstehung und Verteilung von Spannungs- und Stromharmonischen in kompensiert betriebenen Energieversorgungsnetzen im Normalbetrieb und Erdschlussfall

DA 04/2003 (Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) S. Höpfner)

Kafurke, Th.: Thermische Untersuchungen an Hochspannungs-Schaltanlagen

DA 05/2003 (Betreuer: PD Dr.-Ing. habil. H. Löbl)

Jordan, Th.: Untersuchungen zum Isoliervermögen AuS-relevanter Mehrelektrodenanordnungen in Mittelspannungs-Schaltanlagen

DA 01/2004 (Betreuer: Dr.-Ing. E. Engelmann)

2.4 Studienarbeiten

Yong, M.: Schaffung einer Plattform zur Bearbeitung von Mess- und Simulationsdaten auf der Grundlage des im IEEH vorhandenen Erdschlussauswerteprogramms

(Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) S. Höpfner)

Blumenroth, F.: Optimierung der in Matlab vorhandenen Erdschlussauswerteprogramme

(Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) S. Höpfner)

Gasch, E.: Einbindung einer bestehenden Datenbank zur automatisierten Bewertung der Spannungsqualität im Hinblick auf große Datenmengen

(Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Henze, Chr.: Vorbereitung von Messungen synthetischer „Erdschlusslichtbögen“ in der Hochspannungshalle des IEEH

(Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) S. Höpfner)

3 Forschung

3.1 Kurzberichte aus laufenden Forschungsarbeiten

Anwendung der Software-Agenten in der Schutztechnik: Erste Implementierung der Modelle in NETOMAC

Eine neue Richtung in der Entwicklung der Schutzsysteme ist der Einsatz von Kommunikationsverbindungen zwischen den Schutzgeräten und eine erhöhte Funktionalität und Autonomie der Geräte. In der Literatur wird dafür der Begriff „Software-Agenten“ verwendet. Für den Entwurf und das Testen solcher Systeme ist es notwendig, den Schutzgeräten auf irgendeine Weise Daten eines Netzes zur Verarbeitung bereitzustellen.

Eine gute Möglichkeit dafür ist das Einbinden der Modelle der Schutzgeräte in das Netzmodell eines Simulationsprogramms. Dann ist es möglich, nicht nur die Funktion der Schutzgeräte zu überprüfen, sondern auch weitere Vorgänge im Netz nach ihrem Eingriff zu beobachten. Diese Möglichkeit bietet auch die Simulationssoftware NETOMAC.

Modelle von Schutzgeräten sind als Elemente kein Bestandteil von NETOMAC. Man kann aber verschiedene Betriebsmittel, wie zum Beispiel Regler, durch eine so genannte Makrofunktion realisieren. Dabei besteht die Möglichkeit, einige Befehle und logische Operatoren der Programmiersprache Fortran zu benutzen. Auf diese Weise kann man sowohl die eigentlichen Schutzrelais als auch die Algorithmen zur Berechnung von Strom- und Spannungseffektivwerten und Impedanzen nachbilden.

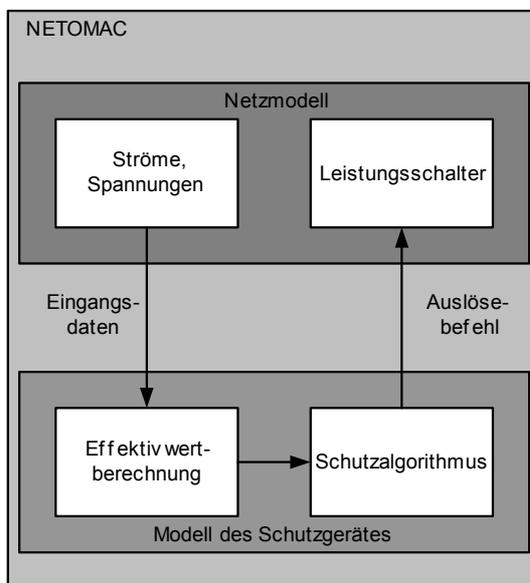


Bild 1: Struktur eines Schutzgerätemodells in NETOMAC

Das Bild 1 zeigt die Struktur eines Schutzgerätemodells in NETOMAC. Das Modell besteht aus zwei Makros – eins für die Verarbeitung der Eingangsgrößen und eins für den eigentlichen Schutzalgorithmus. Das Modell kann um weitere Makros erweitert werden, wenn ein realistischeres Modell benötigt wird.

Das Bild 2 zeigt ein Netzmodell mit vier Schutzgeräten. Man kann auch hier erkennen, dass jedes der vier Schutzgeräte aus zwei Makros besteht, die man über die graphische Oberfläche parametrieren kann. Durch die Parametrierung werden die zu verarbeitenden Größen aus dem Netz bestimmt, die Schutzrelaisstellungen angegeben und jedem Schutzgerät wird ein Leistungsschalter zugeordnet.

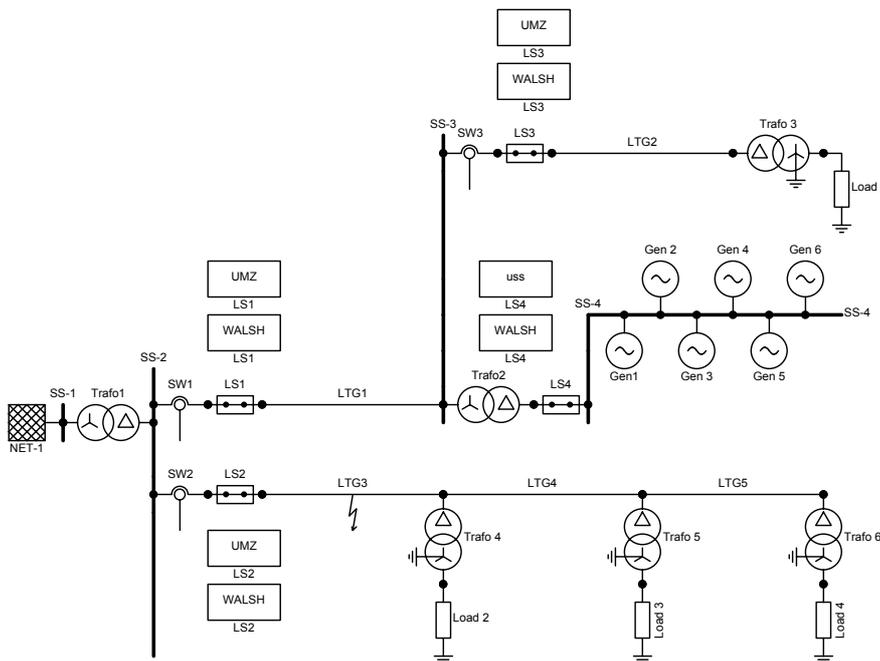


Bild 2: Netzmodell mit Schutzrelais

Die Kommunikation zwischen den Schutzgeräten kann dadurch nachgebildet werden, dass ein Schutzrelais auf die Daten eines anderen Relais zugreift, wobei man diesen Zugriff auch verzögern kann, was einer Verzögerung bei der Datenübertragung entspricht. Bei den ausgetauschten Daten kann es sich um Strommesswerte (für den Wertevergleich) oder Blockierungsbefehle handeln.

Mit Hilfe der oben beschriebenen Methode wurden erste Varianten von Software-Agenten implementiert und getestet.

Peter Vlcek

Verfahren zur vergleichenden Bewertung der Spannungsqualität in Verteilungsnetzen

Die Liberalisierung des Strommarktes zwingt jeden Netzbetreiber zu Kosteneinsparungen, die zu einer Reduzierung oder Verlagerung von Investitionen führen. Diese können sich direkt oder indirekt auf die Spannungsqualität in den Verteilungsnetzen auswirken. Aufgrund der Unsicherheiten bei der Beurteilung dieser Auswirkungen wächst bei den Netzbetreibern das Interesse, die vorhandenen Qualitätsreserven in den Verteilungsnetzen zuverlässig abschätzen und Trends sinkender Spannungsqualität möglichst frühzeitig erkennen zu können.

Um Aussagen über das Niveau der Spannungsqualität für die statistische Grundgesamtheit aller Verknüpfungspunkte (PCC) eines bestimmten Netzbereiches zu treffen, ist folgendes generelle Vorgehen erforderlich:

1. zufällige Auswahl einer ausreichend großen Zahl von Verknüpfungspunkten
2. Messung der Spannungsqualität an den ausgewählten Verknüpfungspunkten nach einheitlichem Verfahren
3. Erkennung von Verknüpfungspunkten, die aufgrund besonders stark abweichender Messwerte nicht der untersuchten Grundgesamtheit zugehörig sind
4. Berechnung vergleichbarer Indizes für die Spannungsqualitätskenngrößen

Die insgesamt anfallenden Aufwendungen für dieses Verfahren werden maßgeblich durch die unter Punkt 1 festzulegende Anzahl von Verknüpfungspunkten bestimmt, die es zu minimieren gilt. Aufgrund technischer Randbedingungen (z. B. begrenzte Anzahl Messgeräte, beschränkte Verfügbarkeit von Personal, eingeschränkte Anschlussmöglichkeiten in den Stationen) ist die geforderte Zufälligkeit bei der Auswahl zumeist nur eingeschränkt realisierbar.

Verknüpfungspunkte mit ähnlichen Strukturmerkmalen (Kundenstruktur, Netzstruktur) weisen mit höherer Wahrscheinlichkeit ein ähnliches Niveau der Spannungsqualität auf als Verknüpfungspunkte mit unterschiedlichen Strukturmerkmalen. Unter Anwendung ausgewählter Methoden der Clusteranalyse werden Verknüpfungspunkte mit ähnlichen Strukturmerkmalen in Klassen zusammengefasst. Die zu messenden Verknüpfungspunkte werden nun unter geeigneter Berücksichtigung der gebildeten Klassen ausgewählt. Des Weiteren bleiben einzelne, aus Beschwerdemessungen bekannte, problematische Verknüpfungspunkte, die nicht der untersuchten Grundgesamtheit entstammen, bei der Auswahl von vorn herein unberücksichtigt. Insbesondere bei einer kleinen Zahl von Messorten wird auf diese Weise die Grundgesamtheit besser repräsentiert und die statistische Genauigkeit der Ergebnisse erhöht.

An jedem ausgewählten Verknüpfungspunkt wird die Spannungsqualität nach einer definierten Messmethodik und normkonform erfasst und gespeichert. Ausgehend von den Ergebnissen $m_{(j,q,l)}$ der Bewertung gemäß DIN EN 50160 für den Zeitraum von jeweils einer Woche wird für jede einzelne Spannungsqualitätskenngröße q (langsame Spannungsänderungen, Flickerstärke, Spannungsunsymmetrie, Oberschwingungsspannung, Netzfrequenz) an jedem gemessenen

Verknüpfungspunkt j , wo erforderlich auch selektiv für jeden Leiter l , ein Index $r_{e(j,q,l)}$ berechnet, der das Maß der bestehenden Reserve zum vorgegebenen Grenzwert $g_{(q)}$ in normierter Form darstellt.

$$r_{e(j,q,l)} = w_{e(j,q)} \cdot \left(1 - \frac{m_{(j,q,l)}}{g_{(q)}} \right) \quad (1)$$

Über den Einzelwichtungsfaktor $w_{e(j,q)}$ kann der Einfluss einer einzelnen Spannungsqualitätskenngröße q auf die spätere Bildung des Gesamtindex $r_{v(j)}$ für den Verknüpfungspunkt j vorgegeben werden. Überschreitet der gemessene Pegel einer Spannungsqualitätskenngröße den vorgegebenen Grenzwert wird $r_{e(j,q,l)}$ negativ.

Die Einzelindizes $r_{e(j,q,l)}$ werden in einem 2. Schritt zu einem Gesamtindex $r_{v(j)}$ für den entsprechenden Verknüpfungspunkt j zusammengefasst, wobei eine strukturabhängige Wichtung der Verknüpfungspunkte durch einen weiteren Wichtungsfaktor $w_{v(j)}$ möglich ist. Auf diese Weise kann z. B. die netztechnisch unvermeidbare Benachteiligung strukturschwacher Verknüpfungspunkte (z. B. ländliche Gebiete) bei der Bewertung der Spannungsqualität berücksichtigt werden. Eine weitere Verdichtung der Indizes für Verknüpfungspunkte zu Indizes für einzelne Regionen oder Netzbereiche $r_{N(i)}$ ist ebenfalls möglich.

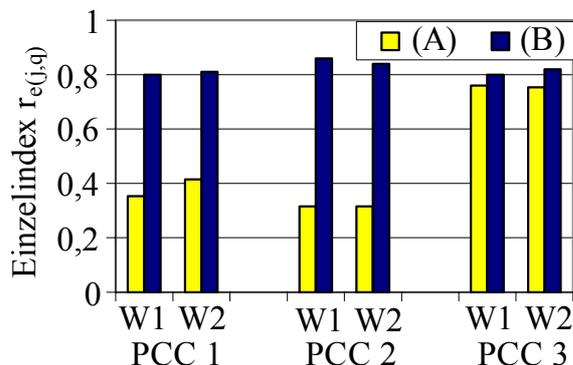


Bild 1: Darstellung der Einzelindizes für 3 Verknüpfungspunkte und 2 Wochen (A) - Harmonische, (B) - Flicker

Tabelle 1: Auswertung $r_{v(i)}$

	$r_{v(1)}$	$r_{v(2)}$	$r_{v(3)}$
Woche 1	0,353	0,315	0,760
Woche 2	0,415	0,315	0,753
Gesamt	0,353	0,315	0,753

Zusammengefasster Index aller Verknüpfungspunkte (Regionalindex):

$$r_{N(1)} = 0,315$$

Jan Meyer

Simulation eines realen resonanzsternpunktgeerdeten Mittelspannungsnetzes unter besonderer Berücksichtigung der Harmonischen Ströme

Die meisten Netze der Mittelspannungsebene werden in Deutschland mit Erdschlusskompensation betrieben. In Abhängigkeit von der räumlichen Ausdehnung und der Kabel-/Freileitungsanteile des jeweiligen Netzes wird mindestens der Sternpunkt eines Transformators über eine Erdschlussspule induktiv geerdet. Man spricht von kompensiert betriebenen Netzen bzw. von Resonanzsternpunktterdung. Im Falle eines Erdschlusses wird auf diese Weise der fließende Fehlerstrom auf einen kleinen Wert begrenzt. Lichtbogenerdschlüsse können selbständig verlöschen. Selbst bei stehenden einpoligen Erdfehlern können, bei ausreichender Spannungsfestigkeit der Netzelemente, eine sofortige Betriebsunterbrechung vermieden und durch Umschaltungen im Netz Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung ergriffen werden. Diese Art der Sternpunktbehandlung bietet quasi neben der guten Beherrschbarkeit des einpoligen Erdfehlers günstige Bedingungen für eine hohe Verfügbarkeit der Elektroenergie.

Harmonische gewinnen durch ihre stetige Zunahme in den Elektroenergieverteilnetzen immer mehr an Bedeutung. Zahlreiche Verbraucher in Haushalt, Gewerbe und Industrie erzeugen Harmonische. Zu den Verursachern von Harmonischen zählen auch die nichtlinearen Betriebsmittel der Netze z. B. Transformatoren und Erdschlussspulen.

Systematische Untersuchungen von Fehlerzuständen und Einflüssen der Harmonischen auf diese Zustände sind in realen Mittelspannungsnetzen fast ausgeschlossen. Mit Hilfe des Simulationsprogramms ATP/EMTP wurden Simulationsmodelle von Betriebsmitteln in ihrer Funktionsweise überprüft, erweitert und verbessert. Die Betriebsmittel wurden anschließend zu einer real existierenden Mittelspannungsnetzstruktur (Bild 1) zusammengefügt.

Die ausgewerteten Messdaten der Erdschlussversuche dieses Netzes lagen bei der Dimensionierung der Netzbelastung und des Oberschwingungsgehaltes dem modellierten Netz zu Grunde. Für den fehlerfreien Betriebszustand sowie für den einpoligen Erdfehlerfall wurde die Verteilung der Harmonischen an vier Netzpunkten durch Simulation untersucht. Für diese Netzpunkte lagen Auswertungen von Messungen im realen Netz vor.

Um die in der Leiter-Erde-Spannung und den Leiterströmen enthaltenen Harmonischen für das Netz nachzubilden, wurde eine Stromquelle, die harmonische Ströme mit Frequenzen der 3., 5., 7. und 11. Harmonischen in das Netz einspeist, angeschlossen. Die Auswertung vorhandener Messungen wurde bei der Festlegung der Netzbelastung und der Modellierung des Anteils der Harmonischen berücksichtigt. Die Amplituden der Quellenströme wurden so gewählt, dass am Einspeisepunkt (Sammelschiene mit Einspeisung aus dem übergeordneten Übertragungsnetz) eine Übereinstimmung des Pegels der Harmonischen mit dem realen MS-Netz erreicht wird.

Die Berechnungen zeigten, dass die Modellierung der Harmonischen mit einer einzigen Stromquelle an der einspeisenden Sammelschiene die Verteilung dieser im Netz nicht ausreichend nachbildet. Dies zeigt sich deutlich in der Analyse des an der Fehlerstelle fließenden Reststromes, welcher im Vergleich zur Messung einen geringeren Anteil Harmonischer aufweist. Die Einspeisung der Harmonischen in eine komplexe Netzstruktur muss an mehreren verteilten Netzpunkten geschehen.

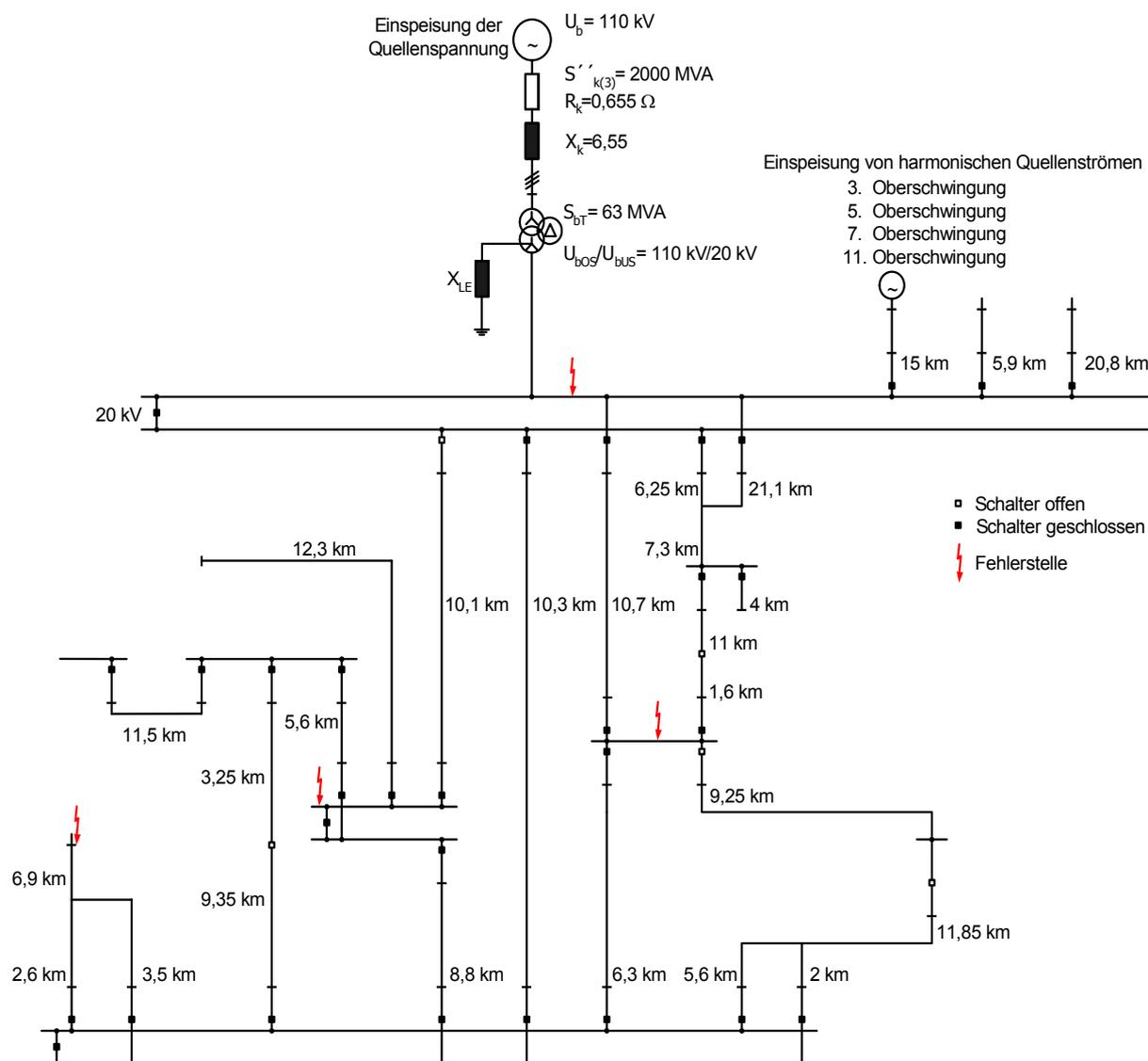


Bild 1: In EMTP/ATP modelliertes Mittelspannungsnetz mit Angabe der Leitungslängen und Fehlerstellen

Mit Hilfe des beschriebenen Modellnetzes konnten grundlegende Untersuchungen zu Resonanzerscheinungen im fehlerfreien sowie erdfehlerbehafteten Netz durchgeführt werden.

Sven Höpfner

Modellierung eines doppelgespeisten Asynchrongenerators mit ATP-EMTP

Ein lokales Energiesystem ist eine strukturierte Gesamtheit von Komponenten in einem Gebiet, deren energetische Grenzen eindeutig und unmittelbar zu erkennen sind. Diese Grenzen sind durch die gesamte Energieproduktion und durch die Energiebilanz definiert. Die Mengen der Energie und Leistung für solche Systeme sind in der Regel klein. Wesentliche Eigenschaften sind die Nähe von Erzeuger und Verbraucher und die Anwendung dezentraler Energieversorgung.

Die Bedeutung der auf erneuerbaren Quellen basierenden dezentralen Elektroenergieversorgung wächst dadurch. Deutschland besitzt einen der ersten Plätze in der Welt für die Produktion elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen, darunter insbesondere aus dem Wind.

Unter den drei grundsätzlichen Technologien (Synchronmaschine, Käfigläufer- und doppelgespeiste Schleifringläufer-Asynchronmaschine), um Windenergie in Elektroenergie umzuwandeln, ist die Konfiguration mit doppelgespeisten Asynchronmaschinen (ASM) die am häufigsten angewandte. Der Ständer der Maschine wird mit dem Netz (feste Frequenz, 50 Hz) verbunden, der Läufer mit einem bidirektionalen und völlig geregelten Umrichter (variable Frequenz und Amplitude in Abhängigkeit von den Lastbedingungen). Diese Konfiguration bietet tatsächlich eine Flexibilität, die nicht von anderen Systemen erreicht wird und kann auch im Niederspannungsbereich (690 V) relativ große Leistungen (bis 2,5 MW) ins Netz einspeisen.

Um die Voraussetzungen zur Untersuchung der transienten Stabilität eines lokalen Energiesystems im Mittelspannungsbereich zu schaffen, wurde das Modell einer doppelgespeisten Asynchronmaschine in ATP-EMTP erstellt. Regelungsstrategien für den stationären Zustand sowie für den Störfall (wobei die Störung sich nicht direkt an dem Maschinenknoten ereignet) werden entworfen, implementiert und getestet. Basis der Modellierung der doppelgespeisten ASM sind die bekannten dynamischen Maschinen Differentialgleichungen (DGL). Diese sind im folgenden im Matrix-Format angegeben:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_s &= R_s \mathbf{i}_s + \frac{d\boldsymbol{\psi}_s}{dt} + \omega_a \mathbf{J} \boldsymbol{\psi}_s & \boldsymbol{\psi}_s &= L_s \mathbf{i}_s + L_m \mathbf{i}_r \\ \mathbf{u}_r &= R_r \mathbf{i}_r + \frac{d\boldsymbol{\psi}_r}{dt} + (\omega_a - \omega) \mathbf{J} \boldsymbol{\psi}_r & \boldsymbol{\psi}_r &= L_m \mathbf{i}_s + L_r \mathbf{i}_r \end{aligned}$$

Wobei jeder Vektor \mathbf{x} aus zwei Komponenten besteht, die in einem rotierenden dq -Koordinatensystem dargestellt werden ($\mathbf{x} = [x_d \ x_q]^T$). Alle Komponenten sind im Zeitbereich angegeben. Eine Implementierung dieses nichtlinearen DGL-Systems zur dynamischen Modellierung kann erfolgen, wenn angenommen wird, dass die mechanische Zeitkonstante viel größer ist als die elektrische. Das ist eine realistische Annahme. Unter dieser Voraussetzung kann die mechanische Geschwindigkeit Ω in einer Iteration als konstant betrachtet werden. Damit ist die Matrix des dynamischen Systems in der aktuellen Iteration konstant und das

DGL-System kann gelöst werden. Durch die elektrischen Größen wird dann das elektromagnetische Drehmoment als Funktion der elektrischen Winkelgeschwindigkeit ω bestimmt und aus dem Vergleich mit dem mechanischen Drehmoment an der Welle erhält man die Winkelgeschwindigkeit ω für den nächsten Iterationsschritt.

Die Implementierung in ATP-EMTP wird mit Hilfe von MODELS (der internen Programmiersprache) durchgeführt. Das Modell hat als Eingangsdaten die Spannungen an den Ständer- und Läuferknoten und als Ausgangsdaten die Ständer- und Läuferströme. Mit gesteuerten Stromquellen wird die Kopplung des ASM-Modells mit dem Netz realisiert (Bild 1).

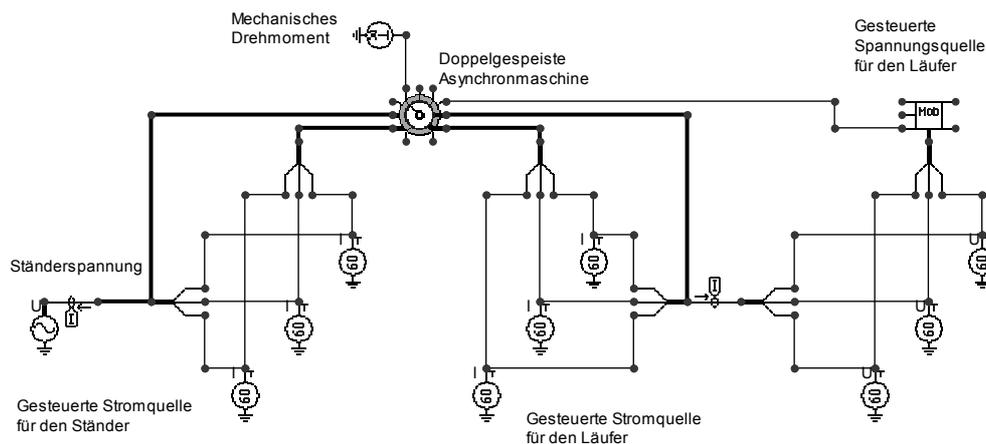


Bild 1: ATPDraw Diagramm der implementierten doppelgespeisten ASM

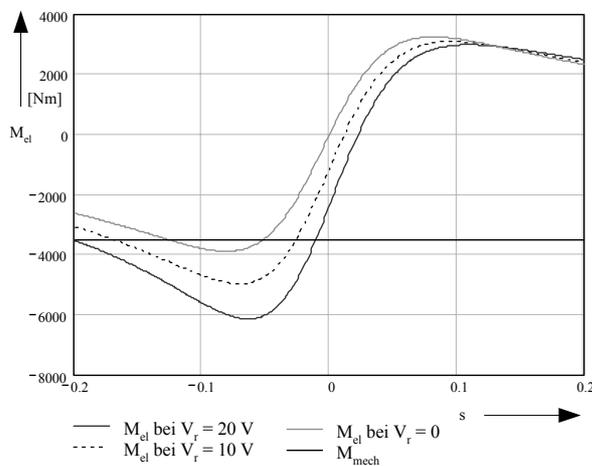


Bild 2: Einfluss der Läufer Spannung auf das mechanische Drehmoment (Ständerspannung: 690 V)

Bild 2 zeigt den Einfluss des Betrags der Läufer Spannung auf das mechanische Drehmoment. Das Bild bezieht sich auf den stationären Zustand.

Diese Kennlinien werden für den Entwurf des Reglers berücksichtigt. Der Regler für die doppelgespeiste ASM besteht aus zwei Regelkreisen. Der externe kontrolliert die Wirk- und Blindleistung und bestimmt die Referenzen für die Läuferströme. Der interne regelt die Läuferströme.

Um den Regler schneller und unabhängig von der Läuferwinkelgeschwindigkeit zu machen, wird eine Entkopplung der Regelung für die d - und q -Achsen verwendet.

Piergiovanni La Seta

Berechnung der Stromtragfähigkeit von Leiterseilen in Umspannwerken abhängig von den Umgebungsbedingungen

Leiterseile in Umspannwerken (UWs) werden durch den zunehmenden Ferntransport des Stromes aus EEG-Anlagen (erneuerbare Energien) immer stärker belastet. Deshalb wird untersucht, ob die Strombelastbarkeit von Leiterseilen abhängig von Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Globalstrahlung erhöht werden kann. Bisher wurden die zulässigen Belastungsströme statisch für eine maximale Umgebungstemperatur von 35 °C und einer minimalen Windgeschwindigkeit von 0,6 m/s bestimmt [1].

Um die Strombelastbarkeit der Leiterseile abhängig von den tatsächlichen Umgebungsbedingungen berechnen zu können, wurde ein Wärmenetz mit zwei Wärmequellen (Sonnen- und Himmelsstrahlung und Belastungsstrom), zwei Strahlungswiderständen (zur Umgebung und gegen die höhere Atmosphäre), einem Konvektionswiderstand und einer Wärmekapazität erstellt (Bild 1). Die Berechnungen mit dem Wärmenetz wurden durch Versuche im Innenraum und unter Freiluftatmosphäre (Bild 2) verifiziert. Treten kurzzeitige Änderungen der Umgebungsbedingungen auf (z. B. Windstärke oder Windrichtung), muss die Wärmekapazität des Leiterseils C_1 im Wärmenetz berücksichtigt werden.

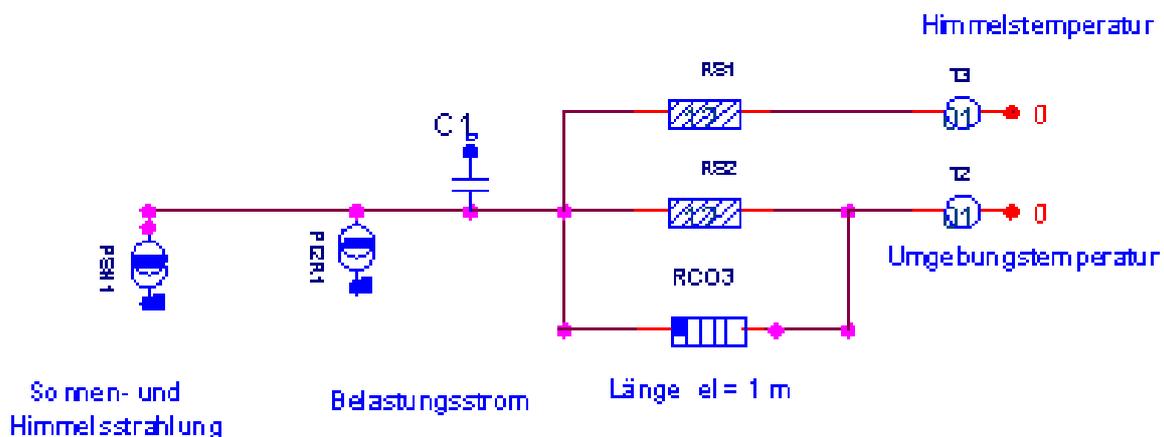


Bild 1: Wärmenetz für einen homogenen Leiter

Für die Berechnung der Seiltemperatur mit Hilfe des Wärmenetzes wurden im Labor die Emissionszahlen von zwei verschiedenen stark gealterten Seilen bestimmt und im Wärmenetz berücksichtigt.



Bild 2: Versuchsaufbau unter Freiluftatmosphäre

Mit Hilfe des durch Experimente verifizierten Wärmenetzes wurden die zulässigen Belastungsströme beispielhaft für das Seil Al/St 550/70 abhängig von der Umgebungstemperatur und der Windgeschwindigkeit berechnet (Bild 3).

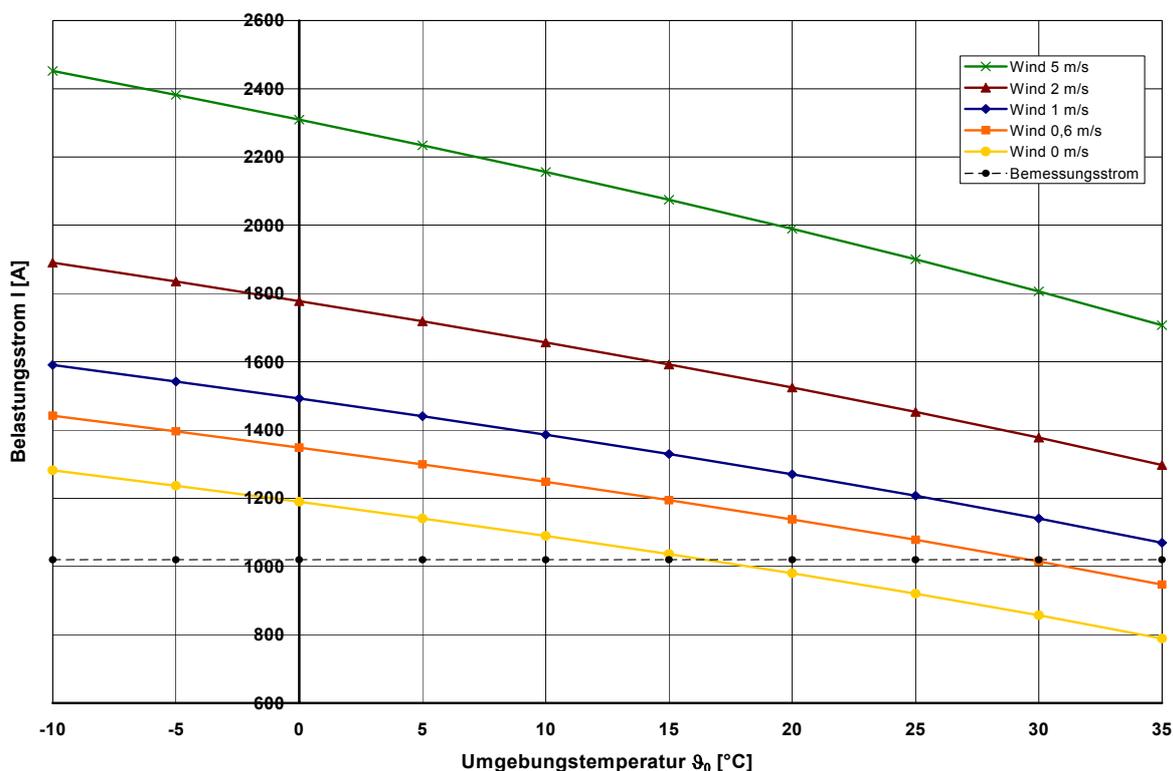


Bild 3: Zulässiger Belastungsstrom für ein Seil Al/St 550/70 für verschiedene Umgebungsparameter

Der zulässige Belastungsstrom, bei dem die Grenztemperatur des Seiles von 80 °C erreicht wird, ist näherungsweise linear von der Umgebungstemperatur abhängig. Die für geringe Umgebungstemperaturen berechneten zulässigen Belastungsströme überschreiten den in [1] angegebenen Bemessungsstrom bis zu 30 %.

Die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die Temperatur der Seile. Beide Parameter können jedoch regional und zeitlich sehr unterschiedlich sein. Um ihre Wirkung auf die zulässige Strombelastbarkeit technisch nutzen zu können, müssten sie regional erfasst und bei der Berechnung der momentan möglichen Strombelastbarkeit der Seile berücksichtigt werden.

Ina Berg

[1] ABB: Schaltanlagen, 9., neubearbeitete Ausgabe, Cornelsen Verlag Schwann-Girardet, Düsseldorf, 1992

Untersuchungen zum konvektiven Wärmeübergang an Kühlkörpern

Die Geräte der Elektroenergie-technik werden immer kleiner und kompakter und müssen immer größere Ströme übertragen können. Das kann zu einer starken Erwärmung in den Geräten und zu unzulässig hohen Temperaturen verbunden mit einer beschleunigten Alterung führen. Um die zu starke Erwärmung der Geräte zu vermeiden, müssen sie auch unter extremen thermischen Bedingungen so dimensioniert werden, dass Grenztemperaturen, die in den Normen fixiert sind, eingehalten werden. Dazu kann man die Wärmenetz-methode einsetzen, die auf der Analogie zwischen dem elektrischen und dem thermischen Strömungsfeld basiert. Um mit Wärmenetzen die Geräte so dimensionieren zu können, dass die in den Normen gegebenen Grenztemperaturen nicht überschritten werden, müssen die physikalischen Vorgänge der Wärmeübertragung bekannt und mathematisch beschrieben sein. Deshalb wurde eine Vielzahl experimenteller Untersuchungen zur konvektiven Wärmeübertragung an Kühlkörpern durchgeführt, aus denen die Parameter n_1 und c_1 für die Ähnlichkeitsfunktion

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

abhängig vom Neigungswinkel des Kühlkörpers zur Luftströmung bei freier Konvektion bestimmt wurden. Kühlkörper kommen verstärkt in Geräten der Elektroenergie-technik zum Einsatz, um die konvektive wärmeabgebende Oberfläche der Geräte zu vergrößern ohne deren Kompaktheit und Kleinräumigkeit zu verändern.

Zwei Kühlkörper (Bilder 1 + 2) wurden auf Heizplatten montiert, deren Leistungen mit Stelltransformatoren beliebig stellbar waren. Die Heizplatten waren zur Umgebung thermisch isoliert, so dass der größte Teil der in die Heizplatten eingespeisten elektrischen Leistung P_{el} von dieser über den Kühlkörper zur Umgebung abgegeben wurde. Die Temperaturen der Kühlkörper, der Heizplatten, der thermischen Isolierung und der Luft wurden mit Thermoelementen gemessen. Die Kühlkörper konnten mit unterschiedlichen Winkeln zur Horizontalen eingestellt werden.

Die durch Konvektion von den Kühlkörpern abgeführte Wärmeleistung P_{Ko} wurde wie folgt berechnet:

$$P_{Ko} = P_{el} - (P_{Is} - P_S) \quad (2)$$

Wobei P_{el} die eingespeiste Leistung, P_{Is} die über die Isolierung und P_S die durch Strahlung abgeführte



Bild 1: Kühlkörper 1 mit Thermoelementen

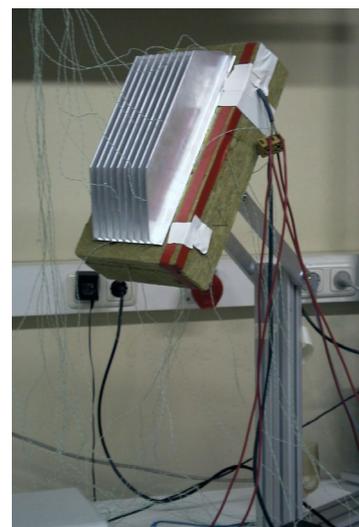


Bild 2: Kühlkörper 2 mit Thermoelementen

Wärmeleistung ist. Die Leistung P_{Is} wurde für jede Versuchsanordnung in einem Kalibrierungsversuch so bestimmt, dass der Kühlkörper durch eine Isolierplatte ersetzt war und der Temperaturunterschied zwischen der Heizplatte und der Isolierung außen gemessen wurde. Die Leistung P_S lässt sich aus der Gleichung

$$P_S = \varepsilon_{1,2} C_S O_S 10^{-8} (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

mit $C_S = 5,67 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ berechnen. Dabei ist O_S die strahlende Oberfläche des Kühlkörpers und $\varepsilon_{1,2}$ seine resultierende Emissionszahl. Ist die durch Konvektion abgeführte Leistung P_{K0} bestimmt, müssen die Nußelt-Zahlen Nu und die Grashof- und Prandtl-Zahlen $GrPr$ der Ähnlichkeitsfunktion berechnet werden. Aus Gl. (1) erhält man bei bekannten Nu -, Gr - und Pr -Zahlen und einem Wert $n_1 = 1/3$ (turbulente Strömung) den Wert für c_1 abhängig vom Winkel des Kühlkörpers zur Horizontalen (Bild 3).

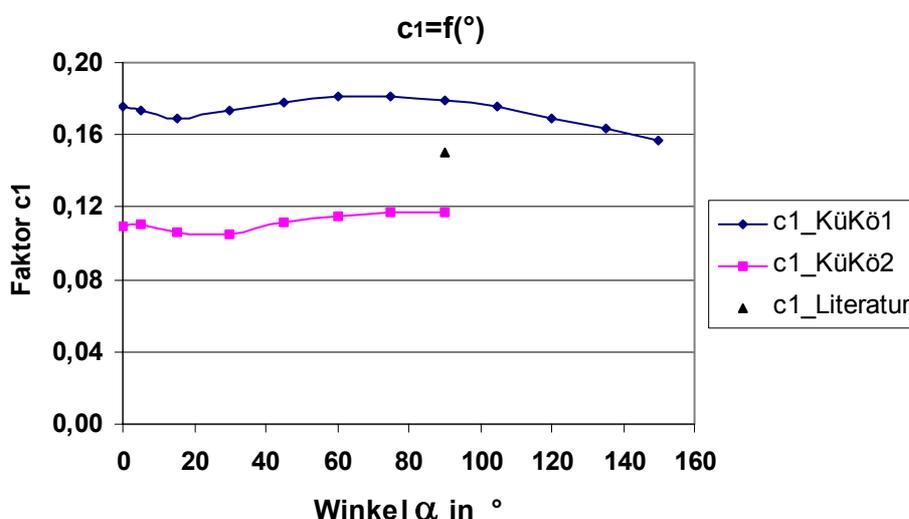


Bild 3: Faktor c_1 in Gl. (1) abhängig vom Winkel α des Kühlkörpers zur Horizontalen

An der Änderung des Faktors c_1 ist erkennbar (Bild 3), dass der konvektive Wärmeübergang von der Oberfläche des Kühlkörpers zur Umgebung geringfügig vom Winkel α abhängig ist.

Bei den Untersuchungen hat sich ergeben, dass die vom Kühlkörper 1 (Bild 1) durch Konvektion an die Umgebung abgeführte Wärmestromdichte durch den größeren Faktor $c_1 = 0,16...0,18$ (Bild 3) ca. 60 % höher ist als vom Kühlkörper 2 mit $c_1 = 0,095...0,12$.

Betrachtet man dagegen den konvektiven Wärmestrom, der von beiden Kühlkörpern an die Umgebung übertragen werden kann, so relativiert sich dieses Verhältnis wieder, da die wärmeabgebende Oberfläche des Kühlkörpers 2, bezogen auf die Grundfläche der Kühlkörper, größer ist als beim Kühlkörper 1.

Tomasz Magier

Die Durchschlagspannungen bei alternierenden Impulsspannungen sind geringfügig größer als bei Wechselspannung.

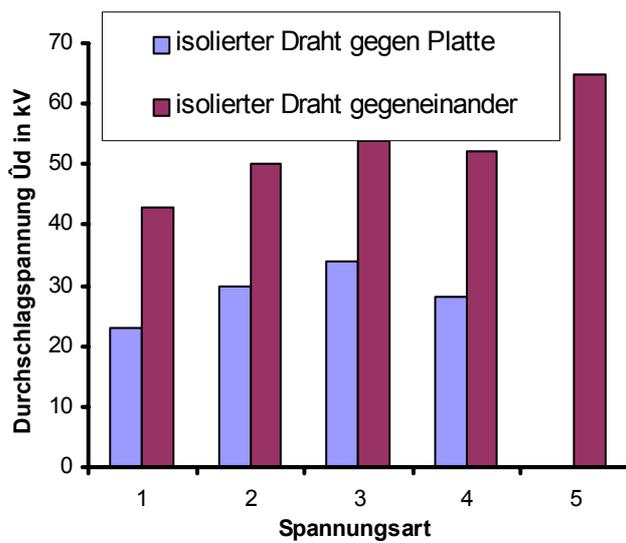


Bild 2:

Spannungssteigerungsversuche an den Anordnungen „papierisolierter Draht gegen Platte“ und „papierisolierte Drähte gegeneinander“

- 1 Wechselspannung 50 Hz
- 2 Schaltspannung 250/2500 μ s (alternierend +-+-+
- 3 Blitzspannung 1,2/50 μ s (alternierend +-+-+
- 4 bipolar Blitzspannung 1,2/50 μ s (siehe Bild 3)
- 5 unipolar Blitzspannung 1,2/50 μ s (Positiv + + + +

Darüber hinaus wurden Lebensdauerversuche mit verschiedenen Prüflingsvarianten und mit verschiedenen Spannungsarten durchgeführt. Die Spannungsstufen für die Langzeitbeanspruchung wurden knapp unter dem Mittelwert der im Spannungssteigerungsversuch ermittelten Durchschlagspannungen gewählt. In Bild 3 sind die Durchschlagimpulszahlen und die daraus geschätzten Lebensdauerkennlinien dargestellt.

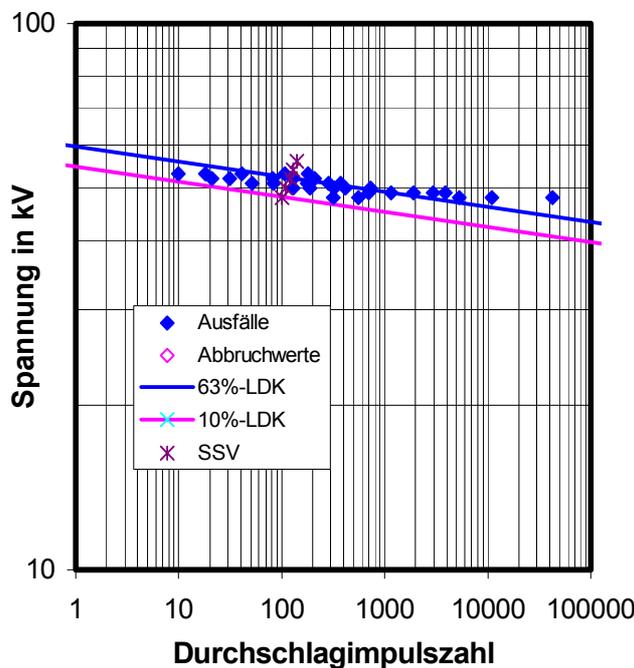
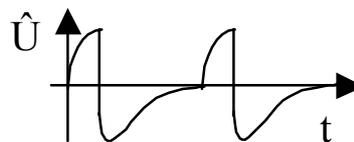


Bild 3:

Lebensdauerexperiment an der Anordnung „Papierisolierte Drähte gegeneinander“ mit bipolar Blitzspannung 1,2/50 μ s



Die ermittelten Lebensdauerexponenten waren bei allen untersuchten Varianten sehr groß. An dem untersuchten Isoliersystem ist damit fast keine Alterung nachweisbar.

Solaiman Rahmoon

Langzeitverhalten von Schrumpfverbindungen abhängig von der Kriechalterung

Verbindungen in elektrotechnischen Geräten müssen langzeitstabil den Betriebsstrom übertragen können. Das heißt, der Widerstand der Verbindungen muss während der gesamten Lebensdauer der Geräte niedrig bleiben. Diese Forderung gilt auch für Schrumpfverbindungen, die Ströme von $I \geq 8 \text{ kA}$ über mehr als 40 Jahre zuverlässig zu übertragen haben.

Schrumpfverbindungen können z. B. aus einem Leiter und einem Kontaktring bestehen. Der Leiter kann aus Aluminium und der Kontaktring aus Kupfer sein. Sowohl der Leiter als auch der Kontaktring werden in der Regel versilbert, um eine langzeitstabile Verbindung zu erhalten.

Der Leiter hat gegenüber dem Kontaktring ein Übermaß \bar{u} . Das Übermaß ist die Differenz aus dem Außendurchmesser des Leiters d_{La} und dem Innendurchmesser des Kontaktrings d_{Ki} im Bereich der Verbindungsfläche (Bild 1). Zur Montage der Schrumpfverbindung wird der Kontaktring erwärmt, auf den Leiter aufgedrückt und anschließend wieder abgekühlt. Bei großen Durchmessern von Leiter und Kontaktring stellen sich hohe tangentiale Druckspannungen $\sigma_{t\text{-Druck}}$ im Leiter und Zugspannungen $\sigma_{t\text{-Zug}}$ im Kontaktring ein. Zwischen dem Leiter und dem Kontaktring entsteht eine mechanisch und elektrisch tragende Verbindungsfläche. In der Verbindungsfläche ergibt sich abhängig von den Tangentialspannungen und der Geometrie der Verbindung der Kontaktdruck p (Bild 2).

Um einen niedrigen Verbindungswiderstand der Schrumpfverbindung zu erreichen, wird nach der Montage ein notwendiger Kontaktdruck $p_{\text{notwendig}}$ für eine

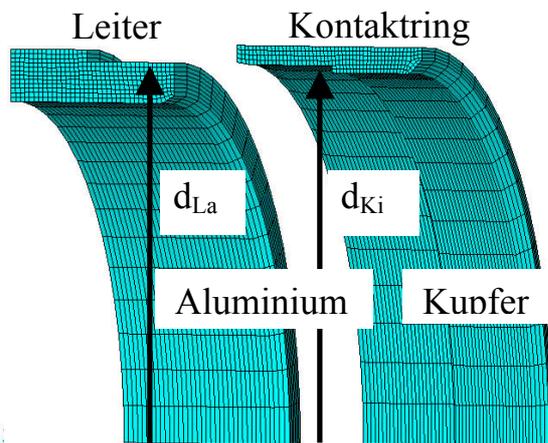


Bild 1: FE-Modell einer Schrumpfverbindung - Beispiel

langzeitstabile Verbindung benötigt (Bild 3). Wird durch das Kriechen des Leitermaterials der Kontaktdruck abhängig von der Strombelastung und der daraus resultierenden Temperatur der Verbindung wieder kleiner, bleibt der Verbindungswiderstand bis zu einem minimalen Kontaktdruck nahezu konstant und wird dann fast sprunghaft größer. Trotz großem Kontaktdruck p sollten die tangentialen Zug- und Druckspannungen möglichst klein sein, da sie das Kriechen des Leitermaterials der Schrumpfverbindung bestimmen. Um zu überprüfen, ob diese Forderungen mit

der vorgegebenen Geometrie realisiert werden kann, muss der notwendige Kontaktdruck $p_{\text{notwendig}}$ für eine langzeitstabile Verbindung entsprechend Bild 3 experimentell ermittelt werden. Anschließend kann mit Hilfe einer Berechnung mit z. B. FE-ANSYS überprüft werden, ob in der gesamten Verbindungsfläche der

Schrumpfverbindung der Kontaktdruck größer als der experimentell ermittelte notwendige Kontaktdruck ist.

Zur Ermittlung des notwendigen Kontaktdrucks wurden eine versilberte Kupfer- und eine versilberte Aluminiumschiene langsam innerhalb von zwei Stunden aufeinander gedrückt bis ein maximaler scheinbarer Kontaktdruck von

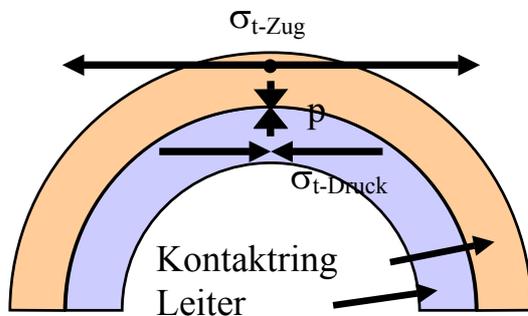


Bild 2: mechanische Spannungen in einer Schrupfverbindung

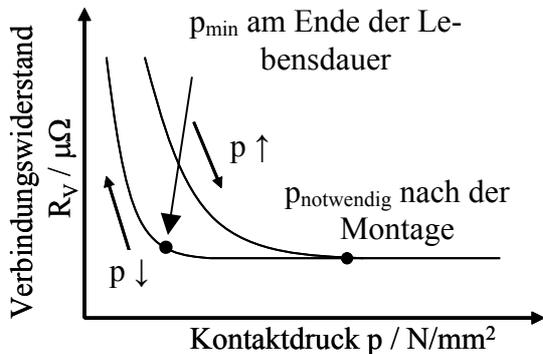


Bild 3: Hysterese zwischen Kontaktdruck und Verbindungswiderstand

16 bzw. 18 N/mm^2 erreicht war. Dieser scheinbare Kontaktdruck wurde über drei Stunden konstant gehalten und anschließend innerhalb von zwei Stunden wieder bis auf null verringert. Dabei wurde der Verbindungswiderstand abhängig vom scheinbaren Kontaktdruck gemessen. Bei einem maximalen scheinbaren Kontaktdruck von 16 N/mm^2 stieg der Verbindungswiderstand sofort wieder an, als der scheinbare Kontaktdruck verringert wurde. Bei einem maximalen scheinbaren Kontaktdruck von 18 N/mm^2 konnte der Kontaktdruck bis auf 10 N/mm^2 verringert werden, ohne dass der Verbindungswiderstand größer wurde. Die Berechnung der Spannungsverteilung in der Verbindungsfläche einer solchen Verbindung mit FE-ANSYS ergab, dass sich bei einem scheinbaren Kontaktdruck von 18 N/mm^2 im größten Teil der Verbindungsfläche ein Kontaktdruck von ca. 18 N/mm^2 einstellt. Dieser

Kontaktdruck wird als minimal notwendiger Kontaktdruck für eine langzeitstabile Schrupfverbindung angenommen.

Durch konstruktive Veränderungen am Leiter und am Kontaktring muss gewährleistet werden, dass durch das fertigungsbedingte Übermaß (Toleranzen) der notwendige Kontaktdruck immer erreicht wird. Dabei muss beachtet werden, dass die tangentialen Zug- und Druckspannungen möglichst klein bleiben.

Mario Jochim

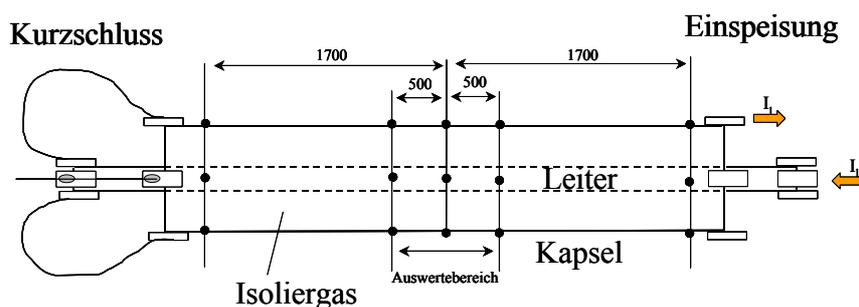
Rechnerische und experimentelle Untersuchungen zur Wärmeübertragung und zur Strömung an Koaxialleitern

Gasisolierte Schaltanlagen (GIS) werden in der Elektroenergie-technik dort eingesetzt, wo eine hohe Zuverlässigkeit bei geringem Platzbedarf verlangt wird, z. B. bei Innenraum-Schaltanlagen. Die kleinen Abmessungen der Anlagen führen jedoch bei hohen Betriebsströmen zu einer starken Erwärmung, da die in den Strombahnen erzeugten Verlustleistungen durch einen mehrfachen Wärmeübergang sowie über die durch die Kompaktheit bedingte geringe Oberfläche der Anlage abgeführt werden müssen.

Um die Anlagen zuverlässig betreiben zu können, müssen die in den Normen vorgegebenen Grenztemperaturen eingehalten werden. Aus diesem Grund ist die genaue Kenntnis der Vorgänge der Wärmeübertragung im Inneren z. B. einer gasisolierten Schaltanlage notwendig, um den maximal möglichen Belastungsstrom der Anlage vorausberechnen zu können.

An einer koaxialen Leiteranordnung (Bild 1) wurden die konvektiven Wärmeübergänge vom Leiter zum Isoliergas und vom Isoliergas zur Kapsel experimentell untersucht. Es waren die Ähnlichkeitskriterien (Gl. 1) für diese beiden konvektiven Wärmeübergänge zu ermitteln. Auf den Innenleiter wurde über einen Hochstromtransformator ein Strom eingespeist, der am anderen Ende der Anordnung über einen Kurzschluss auf die Kapsel übertragen und zum Transformator zurückgeführt wurde. Der Strom I_1 und die Temperaturen des Leiters, der Kapsel, des Isoliergases und der Umgebung wurden gemessen.

In Rauchversuchen wurde eine laminare Strömung nachgewiesen, weshalb in Gl. (1) $n_1 = 0,25$ gilt. Die Nusselt-, Grasshof- und Prandtl-Zahlen wurden nach den Gln. (2) und (3) berechnet und nach Gl. (4) wurde c_1 bestimmt.



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

$$Gr Pr = k_s l_w^3 \Delta \vartheta \quad (2)$$

$$Nu = \frac{P_{Ko} l_w}{A_{Ko} \Delta \vartheta \lambda_M} \quad (3)$$

$$(4)$$

Bild 1: Versuchsaufbau mit koaxialer Leiteranordnung

Die c_1 -Werte ergaben sich für die verschiedenen Wärmeübergänge zu:

- Wärmeübergang Leiter-Isoliergas: $c_1 = 0,54$ ($1 \cdot 10^6 < GrPr < 8 \cdot 10^6$)
- Wärmeübergang Isoliergas-Kapsel: $c_1 = 0,65$ ($1 \cdot 10^7 < GrPr < 2 \cdot 10^8$)
- Wärmeübergang Kapsel-Umgebung: $c_1 = 0,54$ ($2 \cdot 10^7 < GrPr < 3 \cdot 10^8$)

Für den konvektiven Wärmeübergang von der Kapsel zur umgebenden Luft konnte der Wert $c_1 = 0,54$ nach [1] bestätigt werden.

Mit dem Computational-Fluid-Dynamics (CFD) Programm FLOTHERM wurden für die Leiteranordnung (Bild 1) die Strömungen zwischen dem Leiter und der Kapsel sowie vom Leiter an die Umgebung berechnet.

Im waagerechten, koaxialen Zylinderspalt erwärmt sich das Gas am stromdurchflossenen Leiter und strömt nach oben. Entlang der Kapsel kühlt sich das Gas wieder ab und strömt nach unten bis in die Höhe der Unterkante des Leiters. Der untere Bereich des Gasraums ist nahezu strömungsfrei. Damit steht für den konvektiven Wärmeübergang vom Isoliergas zur Kapsel nur eine geringere als die geometrische Oberfläche zur Verfügung.

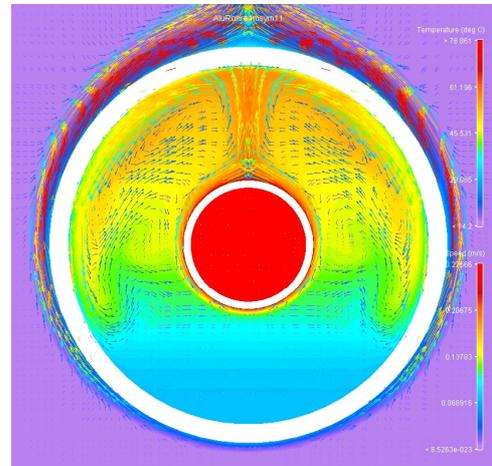
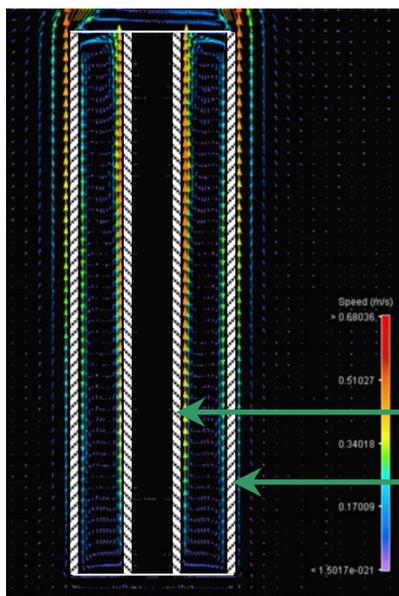


Bild 2: Strömung und Temperatur an einer waagerechten koaxialen Leiteranordnung

An senkrechten, stromdurchflossenen koaxialen Leiteranordnungen erwärmt sich das Gas im koaxialen Zylinderspalt, strömt nach oben und nimmt dabei die Wärmeleistung vom Leiter auf. Im Gegensatz zu waagerechten koaxialen Leiteranordnungen wird die gesamte Länge des Leiters und der Kapsel von der Strömung des Isoliergases erfasst. Besonders für technische Anordnungen mit großen Abmessungen wird der aus dieser Strömung resultierende Wärmeleistungstransport im oberen Bereich der Anordnung zu einer erhöhten Erwärmung führen.



Bei den im Modell verwendeten Abmessungen beeinflussen sich die gegenläufigen Strömungen am Leiter und an der Kapsel nicht (Bild 3). Die mit diesem Strömungsmodell ermittelten allgemeinen Erkenntnisse zu den Wärmetransportvorgängen in einer druckgasisolierten Schaltanlage werden dazu verwendet, im Wärmenetzmodell diese Masse- und Leistungsströme genauer als bisher berücksichtigen zu können.

Innenleiter
Kapsel

Bild 3: Strömung an einer geschlossenen, senkrechten koaxialen Leiteranordnung

[1] Michejew, M.A. *Grundlagen der Wärmeübertragung*
Verlag Technik, Berlin, 1964

3.2. Dissertationen

Meyer, Jan: Bewertung und Modellierung der Elektroenergiequalität auf statistischer Basis unter besonderer Berücksichtigung von Netzen komplexer Abnehmerstruktur

Gutachter: Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. G. Winkler TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. P. Büchner TU Dresden
Dr.-Ing. U. Drechsler

Die Analyse der aktuellen Situation der Elektroenergiequalitätsbewertung zeigt, dass von vielen Energieversorgungsunternehmen eine immer genauere und zuverlässigere Bewertung der Elektroenergiequalität gefordert wird. Bekannte Qualitätsbewertungsverfahren, insbesondere Auswertungen nach aktuell gültigen Normen, erfüllen diese Forderungen bisher kaum. Neue statistische Verfahren und Modelle sind deshalb zwingend erforderlich.

Die Modellierung der Messdaten einer beliebigen Elektroenergiequalitätskenngröße durch Mischverteilungen verbessert die Anpassungsgüte gegenüber den bisher verwendeten Einfachverteilungen erheblich. Letztere sind in den meisten Fällen zur Modellierung ungeeignet. Der Einsatz von Mischverteilungen trägt dazu bei, die Genauigkeit bei der Modellierung der Gesamtstöraussendung im statistischen Koordinationsmodell zu verbessern. Die Komponenten einer Mischverteilung repräsentieren bestimmte Zeitabschnitte in den Messdaten (z. B. Schwachlast, Normallast, Übergang zwischen Schwach- und Normallast). Die Verteilungsparameter enthalten wichtige Informationen über die am untersuchten Verknüpfungspunkt angeschlossenen Abnehmer und deren Verhalten und bilden gleichzeitig den Ausgangspunkt für Untersuchungen zu den Ursachen, die den Verlauf der Elektroenergiequalitätskenngrößen bestimmen.

Der zunehmende Einsatz von Langzeitmesssystemen fordert Auswerteverfahren, die den hohen Informationsgehalt der Messdaten möglichst optimal ausnutzen. Fast immer treten über längere Zeitintervalle (größer 1 Monat) Langzeitschwankungen auf, die in den Auswerteverfahren bestehender Normen nicht berücksichtigt werden. Ein neues Verfahren, das auf der Berechnung statistischer Toleranzgrenzen basiert, liefert einen Wert für den Störaussendungspegel, der die Langzeitschwankungen berücksichtigt. Dadurch erhöht sich die Zuverlässigkeit, insbesondere bei der unternehmensinternen Qualitätsbewertung, ohne dabei erheblichen Mehraufwand zu verursachen.

Die normkonforme Bewertung der Elektroenergiequalität fordert, ausschließlich solche Messdaten auszuwerten, die während des normalen Betriebszustandes des Netzes aufgezeichnet werden. Dem wird durch aktuelle Messsysteme nicht entsprochen. Die Auswertung der Messdaten ist entweder nicht möglich oder führt zu verfälschten Ergebnissen. Ein neues Verfahren bietet die Möglichkeit, Messdaten, die während nichtnormaler Betriebszustände des Netzes aufgezeichnet

werden, zu erkennen. Das Verfahren assistiert dem Anwender, der nur zu entscheiden hat, ob die entsprechenden Messdaten, Teile der Messung oder die gesamte Messung zu verwerfen sind. Langzeitmesssysteme können von dem Verfahren am meisten profitieren, da die manuelle Sichtung der hier anfallenden Datenmengen einen besonders großen zusätzlichen Aufwand bedeuten würde.

Insbesondere zu Zwecken der strategischen Planung sind viele Energieversorgungsunternehmen daran interessiert, die vorhandenen Qualitätsreserven ihrer Netze möglichst gut zu kennen, um daraus Richtlinien für Investition und Planung abzuleiten. Diesem Wunsch wird durch eine Reihe neuer Qualitätskennzahlen entsprochen. Die Bewertungsmöglichkeiten aktueller Normen werden durch die Kennzahlen präzisiert und ergänzt. Die erreichte Ausschöpfung der Verträglichkeitspegel wird durch die Planungsreserve quantifiziert, die unter Berücksichtigung eines durch den Anwender vorgegebenen Sicherheitsfaktors berechnet wird. Eine Methode zur Berechnung von Planungspegeln soll die gemäß Norm für Großverbraucher in Mittel- und Hochspannungsnetzen gedachten Planungspegel für Niederspannungsnetze ohne Großverbraucher anwendbar machen. Die Einführung des Qualitätsprädikates erfolgt mit dem Ziel, auch dem mit der Elektroenergiequalitätsbewertung weniger vertrauten Betriebspersonal eine zuverlässige, einfach interpretierbare Kennzahl zur Verfügung zu stellen.

Alle Verfahren sind Bestandteil der Softwarekomponente des Elektroenergiequalitäts-Bewertungssystems IMEDA. Die Speicherung aller Messdaten einschließlich zusätzlicher Informationen über Netz- und Abnehmerstrukturen, eingesetzte Messgeräte und normative Grenzwerte erfolgt in einer Datenbank. Die messgeräteunabhängige, zentrale Datenhaltung, sowie die flexiblen Möglichkeiten des Zugriffs über lokale Netze oder das Internet entsprechen genau den Forderungen, die aufgrund des stetig wachsenden Datenaufkommens in den Energieversorgungsunternehmen immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Die Optimierung der Datenbank und die Ergänzung um zusätzliche Importfilter stellen ebenso wie die Präzisierung und Erweiterung der Qualitätsprognose mit Künstlichen Neuronalen Netzen, zukünftige Forschungsaufgaben dar. Bereits heute wird im Rahmen verschiedener Projekte mit Energieversorgungsunternehmen an Konzeptionen und Realisierungsmöglichkeiten der zentralen Messdatenspeicherung und Auswertung gearbeitet. Die dabei oftmals gestellte Forderung nach einer Optimierung laufender bzw. der Planung neuer Messprogramme unterstreicht das stetig wachsende Bedürfnis der Energieversorgungsunternehmen nach zuverlässigen Kenntnissen über die aktuelle Elektroenergiequalität der Netze und deren zukünftigem Trend.

Jan Meyer

Hable, Matthias: Beitrag zur Energieeinsatzoptimierung mit evolutionären Algorithmen in lokalen Energiesystemen mit kombinierter Nutzung von Wärme- und Elektroenergie

Gutachter: Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. G. Winkler TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. J. Zschernig TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. R. Bitsch BTU Cottbus

Dezentrale Strukturen nehmen bei der Versorgung sowohl mit elektrischer als auch in Kombination mit Wärmeenergie weltweit zu. Politisch gewollt und dementsprechend gefördert ist die zunehmende Verbreitung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Wind und Sonne. Aus ökologischen und aus Gründen der Ressourcenschonung kommt es zu einer zunehmenden Nutzung von Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung.

Solche dezentralen Energiesysteme weisen gegenüber den heute vorhandenen Strukturen deutliche Unterschiede auf. Bedingt durch die Stochastik des Energiedargebots von Wind und Sonne treten im Erzeugungsgang von elektrischer und Wärmeleistung schnelle, stochastische und im Vergleich zur Systemleistung sehr große Schwankungen auf. Last- und Erzeugungsgang sind häufig unkorreliert oder sogar gegenläufig. Diese Systemcharakteristiken erfordern das Vorhandensein von Speichern, die im Vergleich zur Systemgröße wesentlich größer sein müssen als heute üblich.

Um trotz der komplexen Systemcharakteristik und der schwierigen Charakteristik der erneuerbaren Quellen dem Kunden Energie in hoher Qualität liefern zu können, ist ein aufwändiges Energiemanagement notwendig. Wegen der Zusammensetzung des Energiesystems aus Betriebsmitteln mit sehr heterogener Charakteristik ist eine Einsatzoptimierung schwierig. Aufgrund deren überschaubarer Anzahl kann jedoch mit akzeptablem Zeitaufwand eine Optimierung des Gesamtsystems durchgeführt werden. Im Gegensatz zu den meisten konventionellen Verfahren sind unkonventionelle Verfahren wie z. B. evolutionäre Algorithmen in der Lage, auch solche schwierigen Optimierungsaufgaben in akzeptabler Zeit zu lösen. Daher wurde in der Arbeit untersucht, inwieweit ein Energiemanagementsystem auf der Grundlage evolutionärer Algorithmen aufgebaut werden kann. Evolutionäre Algorithmen wenden die Grundprinzipien der biologischen Evolution auf technische, wirtschaftliche und andere Optimierungsprobleme an.

Als Optimierungskern wurde ein hybrider evolutionärer Algorithmus mit intelligenter Initialisierung der Startpopulation und integriertem Reparaturalgorithmus entwickelt. Intensive Untersuchungen ergaben, dass dieses Verfahren für die Optimierung von Fahrplänen gut geeignet ist. Besonders die einfache Integration von Speichern und KWK sowie einer heterogenen Betriebsmittelstruktur, die Nutzung von Erfahrungen aus vorhergehenden Optimierungsperioden und die Trennung der Modelle der Betriebsmittel (die ebenfalls entwickelt wurden) vom Optimierungsverfahren machen dieses Verfahren attraktiv. Das entwickelte Ver-

fahren zur Energieeinsatzoptimierung kann ohne größere Änderungen auf praktisch beliebige Energiesysteme angewendet werden.

Es wurden sehr umfangreiche und intensive Untersuchungen zur Optimierung des gewählten Algorithmus durchgeführt. Daraus wurden Hinweise zur optimalen Ausgestaltung des Algorithmus abgeleitet. Dabei ergab sich, dass bei einzelnen unabhängigen Optimierungen die Initialisierung der Startpopulation den größten Einfluss auf die Ergebnisqualität hat. Mit steigender Rechenzeit (die sich aus dem Produkt von Populationsgröße, der Anzahl durchgeführter Rekombinationen und der Anzahl der gerechneten Zyklen ergibt) steigt die Qualität des gefundenen Fahrplanes kontinuierlich an. Die Art des gefundenen Fahrplanes hängt bei kurzen Optimierungszeiten sehr stark von der Codierung der Replikatoren ab. Mit Hilfe einer günstigen Codierung kann die Konvergenz hochgradig beschleunigt werden. Für ein Energiesystem mit 15 Betriebsmitteln unterschiedlicher Charakteristik sind Rechenzeiten von etwa 10 bis 15 Minuten bis zu einem guten Ergebnis zu erwarten.

Auch in realen Energiesystemen von niedrigerer sowie großer Ausdehnung und Komplexität kann das Optimierungsverfahren erfolgreich eingesetzt werden, wie Ergebnisse an Testenergiesystemen sowie Testrechnungen mit Daten von Energiesystemen auf der Insel Cape Clear, an der FH Offenburg und im Allgäu bestätigen (Beispielresultate siehe Bild 1).

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation zeigen, dass erweiterte hybride evolutionäre Algorithmen für die integrale Energieeinsatzoptimierung in kombinierten lokalen Energiesystemen geeignet sind und bei gleichem bzw. geringerem Aufwand bessere Ergebnisse als viele andere Optimierungsverfahren erzielen.

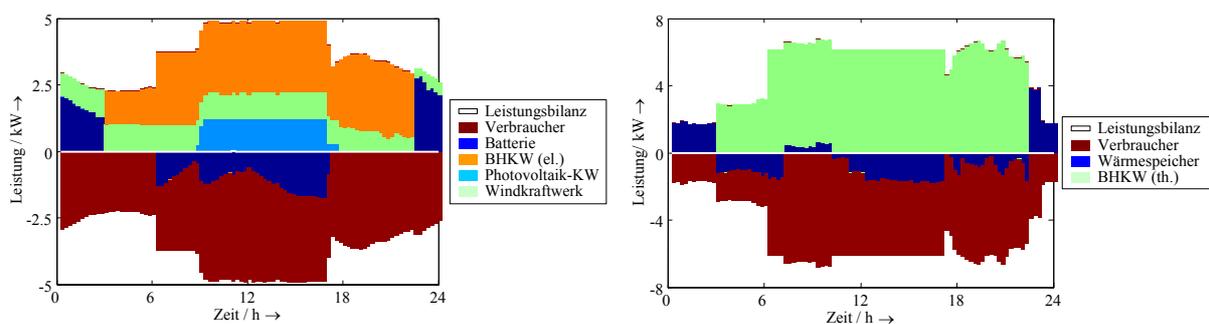


Bild 1: Beispielresultate für ein kombiniertes Energiesystem

Matthias Hable

Hiller, Thomas: Methoden und Werkzeuge zur Optimierung des Störungsmanagements in Verteilungsnetzen

Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. P. Schegner	TU Dresden
	Prof. Dr.-Ing. W. Schufft	TU Chemnitz
	Dr.-Ing. S. Heine	ESAG Dresden

In der modernen Industriegesellschaft hat die Zuverlässigkeit der Stromversorgung eine hohe Bedeutung, die durch den zunehmenden Einsatz von PCs und numerischer Steuerung noch weiter zunehmen wird. Die Liberalisierung der Strommärkte hat die Elektrizitätsversorgungsunternehmen zu Kürzungen bei Investitionen sowie Betriebs- und Instandhaltungskosten gezwungen. Nationale Regulierungsbehörden sind dafür verantwortlich, den Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Versorgungszuverlässigkeit entgegenzuwirken. Die regulatorischen Rahmenbedingungen enthalten üblicherweise Grenzwerte für die Kenngrößen der Versorgungszuverlässigkeit.

In der beschriebenen Situation ist es eine wichtige Ingenieuraufgabe, ein Stromnetz mit begrenzten finanziellen Mitteln so zu betreiben, dass eine angemessene Versorgungszuverlässigkeit nachhaltig gewährleistet wird. Zur Erreichung dieser Ziele werden Berechnungsmethoden und -werkzeuge benötigt, um den Prozess der Netzplanung zu unterstützen. Mit der zur Zeit verfügbaren Netzplanungssoftware kann aber die mittlere Unterbrechungsdauer in Mittelspannungsnetzen nur abgeschätzt werden, was auf die Besonderheiten des Netzbetriebs in dieser Spannungsebene zurückzuführen ist.

In der Arbeit wird eine neue Methode vorgestellt, mit der die mittlere Unterbrechungsdauer in Mittelspannungsnetzen berechnet werden kann. Ihre wesentlichen Merkmale sind:

- Abstrakte Modellierung des Prozesses Störungsmanagement mit den Mitteln der Graphentheorie
- Monte-Carlo-Simulation unter Berücksichtigung der stochastischen Einflüsse auf den Netzbetrieb
- Systematische objektorientierte Zerlegung und statistische Analyse der Netzstruktur

Im Unterschied zu anderen Ansätzen werden bei der vorgestellten Methode die realen Verteilungen der Modellparameter nicht vernachlässigt, sondern mit statistischen Methoden analysiert und als Eingabedaten für die Simulation benutzt. Mit modernen Zufallsgeneratoren können vorgegebene Parameterverteilungen während der Monte-Carlo-Simulation präzise umgesetzt werden.

Die Verifikation der Methode (Bild 1) erfolgt für vier exemplarische Mittelspannungsnetze, welche die in der Praxis vorkommenden Strukturausprägungen von ländlich bis städtisch abdecken. Anhand mehrerer Beispiele, die sich hauptsächlich auf den Einfluss von Netzstruktur und Netzautomatisierung auf die

Versorgungszuverlässigkeit beziehen, wird die praktische Anwendung der Methode demonstriert.

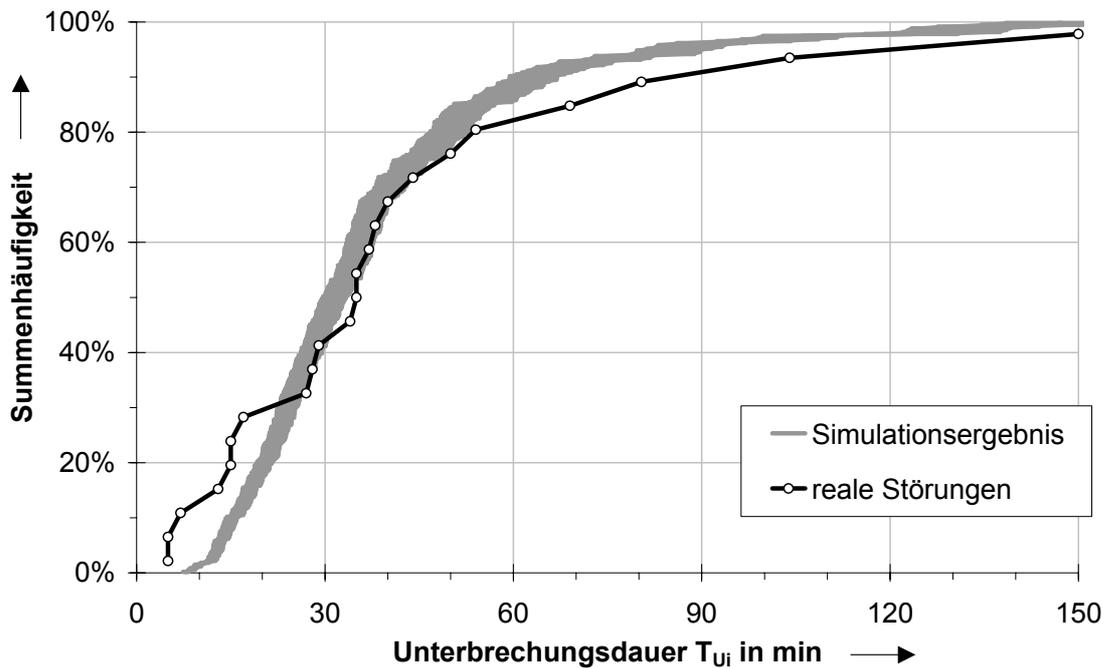


Bild 1: Verifikation der Simulationsergebnisse für ein exemplarisches ländliches Netz

Wenn man die Methode mit der herkömmlichen Zuverlässigkeitsberechnung kombiniert, dann wird es möglich, die Nichtverfügbarkeit mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen.

Mit leichten Modifikationen, die in der Arbeit beschrieben sind, kann die vorgestellte Methode auch für Netze mit zentralen Fehlerortungssystemen und zur Berechnung der mittleren Erdschlussdauer in kompensierten Netzen eingesetzt werden.

Thomas Hiller

Eberl, Gerit: Einsatz eines Deltaverfahrens zur Berechnung der Erdschlussdistanz in kompensiert betriebenen Energienetzen

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. M. Lehtonen TU Helsinki
Prof. Dr.-Ing. M. Igel HTW Saarbrücken

Die Kompensation des Erdschlussstromes in Mittelspannungsnetzen mit induktiver Sternpunktterdung ermöglicht im Falle eines Erdschlusses die Weiterführung des Netzbetriebes ohne Spannungseinbruch und damit die Aufrechterhaltung der Energieversorgung. Der exakten und schnellen Lokalisierung von Erdschlüssen kommt mit Hinblick auf die Vermeidung von Folgefehlern und damit Personengefährdung und Versorgungsausfälle wesentliche Bedeutung zu.

Es wurde ein neues Verfahren zur Berechnung der Erdschlussentfernung auf Basis stationärer Größen entwickelt, welches durch Anwendung einer Deltamesung den Einfluss des Laststromes und die Auswirkungen systematischer Verarbeitungsfehler deutlich reduziert.

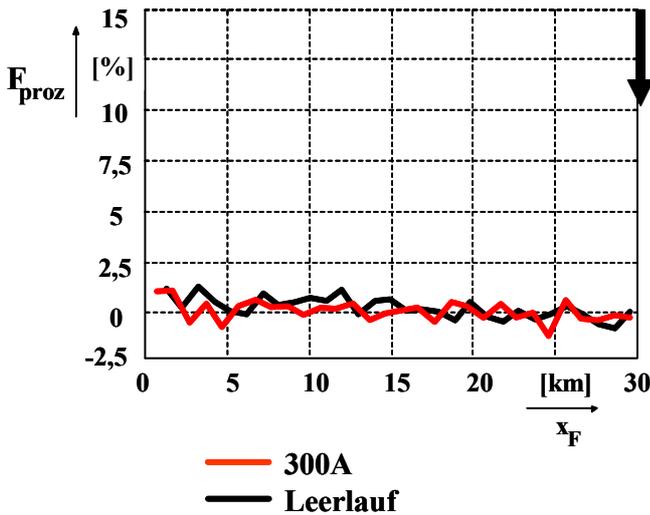
Der Fehlerstrom wird durch Änderung der Impedanz des Erdschlusskompensationssystems um einen bestimmten Wert variiert. Die resultierende Fehlerstromänderung ist im gesamten Fehlerstromkreis (Bild 1), der durch die Reihenschaltung der symmetrischen Komponenten gebildet wird, wirksam. Die dabei auftretende Änderung des Laststromes ist deutlich kleiner als die Fehlerstromänderung. Daraus resultiert eine wesentliche Verringerung des Laststromeinflusses.

Die Berechnung der Erdschlussentfernung erfolgt durch Lösen der Maschengleichung des Fehlerstromkreises. Die Fehlerstromänderung wird auf Basis der Änderung des Nullstromes und des Querstromes der Leitung näherungsweise bestimmt. Der Fehlerwiderstand wird durch getrennte Betrachtung von Real- und Imaginärteil aus der Bestimmungsgleichung eliminiert.

Es konnte festgestellt werden, dass bei der Entfernungsbestimmung simulierter Erdschlüsse sehr gute Ergebnisse erreicht werden. Der Laststromes der Leitung hat im Fall einer konzentriert angeschlossenen Lastimpedanz keinen Einfluss (Bild 1a). Bei verteiltem Lastanschluss tritt ein Modellierungs- und damit Berechnungsfehler auf, der jedoch im relevanten Bereich des Laststromes kleiner 10 % ist (Bild 1b).

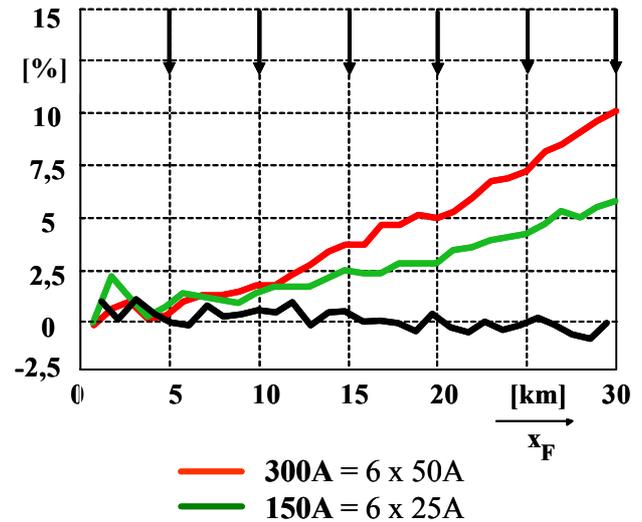
Es konnte festgestellt werden, dass bei Auswertung simulierter Erdschlüsse in Freileitungen im Bereich des Fehlerwiderstandes $R_F < 100 \Omega$ sowie in Kabeln $R_F < 50 \Omega$ Berechnungsfehler kleiner 10 % auftreten.

Konzentrierter Lastanschluss am Leitungsende



a)

Verteilter Lastanschluss



b)

Bild 1: Prozentualer Fehler der berechneten Erdschlusssentfernung in Abhängigkeit von der Fehlerentfernung und vom Laststrom

mit
$$F_{\text{proz}} = \frac{x_{F\text{-calc}} - x_F}{x_F} \cdot 100\%$$

Neben der Simulation von Erdschlüssen wurden in einem 20-kV-Mittelspannungsnetz reale Erdschlussmessungen durchgeführt. Die untersuchten Leitungen weisen eine sehr inhomogene Struktur, d. h. sowohl Freileitungs- als auch Kabelabschnitte auf. Daraus resultieren erhöhte Berechnungsfehler, wobei jedoch in Abhängigkeit von der Verstimmungsgradänderung Werte im Bereich kleiner 10 % erreicht wurden.

Neben dem inhomogenen Leitungsaufbau sind dem Algorithmus durch Messfehler von Strom- und Spannungswandlern sowie durch Parametrierungsfehler der Leitungsimpedanzen Grenzen gesetzt. Mit Hinblick auf den Einsatz unkonventioneller Wandler und unter der Voraussetzung der messtechnischen Erfassung bzw. Überwachung von Leitungsparametern hat das vorgestellte Verfahren zukünftig ein hohes praktisches Einsatzpotential.

Gerit Eberl

3.3 Veröffentlichungen

Hiller, Th.; Heine, St.; Schegner, P.: Bestimmung der Dauer von Versorgungsunterbrechungen in ländlichen Mittelspannungsnetzen. *Elektrizitätswirtschaft* Jg. 103 (2004), Heft 3, S. 58 – 61

Luxenburger, R.: Neues Verfahren reduziert Anforderungen an Stromwandler für die AWE. *etz* Heft 8/2004, S. 50 - 51

Bauer, H.; Pornath, Th.; Schubert, H.; Walther, J.-Th.: Modellierung einer Schaltanlage. in: *Offene Kommunikation nach IEC 61850 für die Schutz- und Stationsleittechnik*. *etz-Report* 34 (2004), S. 65 - 81

Luxenburger, R.: Anwendung der AWE bei eingeschränkter Übertragungsfähigkeit der Stromwandler. *VDN/ETG-Fachtagung „Schutz- und Leittechnik – Tutorial“*, Jena, 10./11.02.2004, Materialienband – Nr. 14

Lobos, T.; Rezmer, J.; Sikorski, T.; Schegner, P.: Time-frequency analysis of non-stationary signals in power systems. *Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection*, Amsterdam/Niederlande, 05.-08.04.2004, Tagungsband S. 68 - 71

Luxenburger, R.; Schegner, P.; Igel, M.: ATP/EMTP model of TPX, TPY and TPZ current transformers for realistic testing of protection devices. *Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection*, Amsterdam/Niederlande, 05.-08.04.2004, Tagungsband S. 260 - 263

Luxenburger, R.; Schegner, P.: A new intelligent auto-reclosing method considering the current transformer saturation. *Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection*, Amsterdam/Niederlande, 05.-08.04.2004, Tagungsband S. 583 - 586

Zivanovic, R.; Schegner, P.: Pre-filtering improves prony analysis of disturbance records. *Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection*; Amsterdam/Niederlande, 05.-08.04.2004, Tagungsband S. 780 - 783

Schegner, P.; La Seta, P.: Stability of Asynchronous Wind Generators Using Lyapunov's Direct Method. *Bulk Power System Dynamics and Control VI*. Cortina D'Ampezzo/Italien, 22.-27.08.2004, Preprints Vol. I (CD)

Pilz, G.; Schegner, P.; Wallner, C.; Muhr, H. M.; Pack, S.: A Algorithm for the Three-Pole Controlled Auto-Reclosing of Shunt Compensated Transmission Lines with a Optimization for the second and third Pole. *Cigre 2004 Session*, Paris/Frankreich, 29.08.-03.09.2004, Papers A3-115 (CD)

Schoenemann, Th.; Schenk, M.; Löbl, H.; Pleines, M.; Magier, T.: Optimal Design of Generator Circuit Breakers up to a capacity of 2000 MVA using Thermal Models – under Consideration of Electrical and Thermal Contact Resistances. IEEE – 22. International Conference on Electrical Contacts, Seattle/USA, 20.-23.09.2004, Tagungsband S. 111 - 117

Luxenburger, R.; Schegner, P.: Impacts of large wind farms on transient reliability of distance protection. 14th International Conference on Power System Protection - PSP 2004, Bled/Slowenien, 27.-30.09.2004, Tagungsband S. 50 - 53

Schegner, P.; Vlcek, P.; Pannhorst, H.-D.; Ruhle, O.: Modelling of software-agent-based protection systems within NETOMAC. 14th International Conference on Power System Protection - PSP 2004, Bled/Slowenien, 27.-30.09.2004, Tagungsband S. 162 - 166

Schoenemann, Th.; Pleines, M.; Löbl, H.; Magier, T.; Schenk, M.: Zur thermischen Auslegung von Schaltersystemen für Generatoren bis zu einer Leistung von 2000 MVA. Elektrizitätswirtschaft ew Jg. 103 (2004), Heft 11, S. 64 - 71

Zivanovic, R.; Schegner, P.; Seifert, O.; Pilz, G.: Identification of the Resonant-Grounded System Parameters by Evaluating Fault Measurement Records. IEEE July 2004 Volume 19, Issue 3, S. 1085 - 1090

La Seta, P.; Höpfner, S.; Schegner, P.: ATP-EMTP Modelling of Power Systems Stability Control with Lyapunov's Direct Method. EEUG Meeting 2004, European EMTP-ATP Conference, Trondheim/Norwegen, 03.-05.10.2004, Proceedings

Engelmann, E.: Neue Normen für den Blitz- und Überspannungsschutz. Elektrotechnischer Sonderheft „Blitz- und Überspannungsschutz“ (2004), S. 2 - 9

Schöffner, G.; Löbl, H.; Rogler, R.-D.; Barz, D.: Thermal Calculations of Gas Insulated Transmission Lines GIL Based on Thermal Networks. International Conference on Power System Technology – POWERCON 2004, Singapore, 21.-24.11.2004, Tagungsband S. 1 - 8

Bauer, H.: Isolationskoordination in Verteilungsnetzen. FGH-Tagung Isolationskoordination, Deidesheim, 23.11.2004, Tagungsband

3.4 Vorträge

Luxenburger, R.: Verifikation des Schutzsystems von Höchstspannungsnetzen unter besonderer Berücksichtigung von EEG-Einspeisungen. „Dresdner Kreis 2004“, Dresden, 29./30.03.2004

Meyer, J.: Wahrscheinlichkeitsorientierte Modellierung der Elektroenergiequalität im Niederspannungsnetz. „Dresdner Kreis 2004“, Dresden, 29./30.03.2004

Werner, T.: Einsatz des Wärmerohres in Hochspannungs-Schaltanlagen. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Gramsch, Chr.: Thermische Dimensionierung mit Wärmenetzen. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Jochim, M.: Mechanische Spannungen in Schrumpfverbindungen und deren elektrischer Widerstand. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Rahmoon, S.: Untersuchungen an Öl-Papier-Isolierungen bei impulsförmiger Spannungsbeanspruchung. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Magier, T.: Untersuchungen zum konvektiven Wärmeübergang an Kühlkörpern. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Berg, I.: Strombelastbarkeit von freiluftverlegten Leiterseilen. 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004

Bauer, H.: Isolationskoordination in Verteilungsnetzen. AKEI-FGH-Seminar, Deidesheim, 23.11.2004

4 Externe Aktivitäten und Kontakte

4.1 Teilnahme an Fachtagungen und Kolloquien

VDN-Fachtagung „Schutz- und Leittechnik“, Jena, 10./11.02.2004	Prof. Schegner, Dr. Bauer, DI Luxenburger
63. Kabelleseminar, Hannover, 17./18.02.2004	Prof. Schegner
ETG-Fachtagung „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“, Köln, 09./10.03.2004	Prof. Großmann, Dr. Speck
„Dresdner Kreis 2004“, Dresden, 29./30.03.2004	Prof. Schegner, Prof. Großmann, Prof. Winkler, Prof. Pundt, Dr. Bauer, Dr. Mach, DI Luxenburger, DI Meyer, DI Pilz, DI La Seta, DI Vlcek, DI Höpfner, DI Bohn
Developments in Power Systems Protection (DPSP), Amsterdam/Niederlande, 05.-08.04.2004	Prof. Schegner, DI Luxenburger
12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden, 04./05.06.2004	Prof. Großmann, Dr. Löbl, Dr. Engelmann, Dr. Speck, DI Berg, DI Gramsch, DI Jochim, DI Magier, DI Rahmoon, DI Werner
40. CIGRE-Konferenz, Paris/Frankreich, 29.08.-03.09.2004	Prof. Schegner, DI Pilz
IEEE – 22. International Conference on Electrical Contacts, Seattle/USA, 20.-23.09.2004	Prof. Großmann, DI Jochim
VDE-Kongress 2004, Berlin, 18.-20.10.2004	Prof. Schegner, Prof. Großmann, Dr. Löbl, Dr. Bauer
AKEI-FGH-Seminar Isolationskoordination, Deidesheim, 23.11.2004	Dr. Bauer

4.2 Veranstaltungen des Instituts

- 15.01.04 Schnupperstudium für einen Tag
- 29./30.03.04 „Dresdner Kreis 2004“
- 24.04.04 Uni-Tag 2004
- 04./05.06.04 12. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik mit TU Darmstadt, TU München, TU Ilmenau und HTWS Zittau/Görlitz
- 25.06.04 Lange Nacht der Wissenschaften
- 08.10.04 Ehrenkolloquium – 100 Jahre Prof. Obenaus
- 09.10.04 9. Assistentenkolloquium der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik in Dresden

Wissenschaftliche Kolloquien:

- 13.01.04 Dr. rer. nat. Lakner, ABB Dättwil, Schweiz
„Hochtemperatur-Supraleiter in der Energietechnik“
- 20.04.04 Dr.-Ing. Weißenberg, Brugg Kabel AG, Schweiz
„Historie, Stand und Entwicklungstendenzen von Hoch- und Höchstspannungskabeln“
- 18.05.04 Dr.-Ing. Berger, Vattenfall Europe Transmission GmbH, Berlin
„Weltweite Stromversorgungs-Blackouts im letzten Sommer – Was passierte im Einzelnen und welche Schlussfolgerungen haben deutsche Netzbetreiber daraus gezogen?“
- 08.06.04 Dipl.-Ing. Bergs, RWE Rhein-Ruhr Verteilnetz GmbH, Wesel
„Auswirkungen dezentraler Energieerzeugung auf Planung und Betrieb elektrischer Verteilungsnetze“
- 15.06.04 Dipl.-Ing. Hylla, enviaM, Halle/Saale
„Praktische Erfahrungen bei der Eingrenzung von Störungen im Mittelspannungsnetz mit Unterstützung der Leittechnik“

- 20.07.04 Dr.-Ing. Seifert, LAPP-Insulator GmbH, Wunsiedel
„Verbundisolatoren für Freileitungen und Anlagen – Stand der Technik und Entwicklungstendenzen“
- 16.11.04 Dr.-Ing. Hentschel, AREVA, Dresden
„Schaltanlagenbau heute – Anforderung des Marktes und Schlussfolgerungen der Systemanbieter“
- 07.12.04 Dr.-Ing. Schoenemann, ABB Schweiz
„Zur Auslegung von Generatorleistungsschalter-Systemen für den Einsatz in Kraftwerken bis 2000 MVA“

4.3 Weiterbildung

- 04./05.10.04 Dr. Löbl
Zustandsabhängige Instandhaltung und Infrarotdiagnose für Verbindungen in der Elektroenergietechnik
München; veranstaltet vom Haus der Technik Essen

4.4 Mitarbeit in Gremien

Prof. Dr.-Ing. P. Schegner

- Mitglied im ETG-Vorstand
- persönliches Mitglied der FGH
- Mitglied der CIREC Advisory Group
- Vorsitzender des Programmausschusses der ETG-Fachtagung „Schutz- und Stationsleittechnik“
- Prodekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Mitglied des Konzils der TUD und des Fakultätsrates der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. S. Großmann

- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-Bezirksverein Dresden

Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler

- Arbeitsausschuss „Spannungsqualität“ des VDN Berlin
- Fachbereich 2 „Übertragung und Verteilung elektrischer Energie“ der Energietechnischen Gesellschaft im VDE
- Deutsches Komitee CIREC im Fachbereich 2 der Energietechnischen Gesellschaft im VDE
- Vorsitzender des Arbeitskreises „Netzzrückwirkungen“ im VDE-Bezirksverein Dresden

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Pundt

- Geschäftsführer VDE-Bezirksverein Dresden
- Gesellschaft von Freunden der TU Dresden

Doz. Dr.-Ing. H. Bauer

- K 122 „Isolationskoordination“ der DKE
- VDE-Arbeitskreis „Sicherheits- und Unfallforschung“
- Vorsitzender des Arbeitskreises „Koordination der Isolation“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- Gemeinschaftsarbeitskreis GAK 15 des K 952 im DKE „Kommunikation in Schaltanlagen nach IEC 61850“
- Forschungsverbund „Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme“
- ITG – FA 5.5 „Prozessdatenübertragung“
- Persönliches Mitglied CIGRE und FGH

Dr.-Ing. K.-H. Freytag

- UK 221.1 „Schutz gegen elektrischen Schlag“ im Komitee 221 „Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V“
- Vorstandsmitglied im VDE-Bezirksverein Dresden
- Vorsitzender des Arbeitskreises „Starkstromanlagen bis 1000 V“ im VDE-Bezirksverein Dresden

Dr.-Ing. F. Mach

- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- EMTP Usergroupe

Dr.-Ing. E. Engelmann

- Komitee 251 „Blitzschutzanlagen“ im DKE
- Fachbereich 2 „Übertragung und Verteilung elektrischer Energie“ der Energietechnischen Gesellschaft im VDE
- AK „Arbeiten unter Spannung“ des VDE Bezirksvereins Dresden

PD Dr.-Ing. habil. H. Löbl

- UK 121.2 „Mechanische und thermische Kurzschlussfestigkeit“ im DKE

5 Prüf-, Mess- und Labortechnik des Instituts

- Wechselspannungs-Prüfanlagen bis 1200 kV, 1200 kVA
- Stoßspannungs-Prüfanlagen bis 2400 kV, 120 kJ
- Gleichspannungs-Prüfanlagen bis 1200 kV
- Stoßstrom-Prüfanlage bis 70 kA
- Beregnungsanlagen für Regenprüfungen von Freiluft-Hochspannungs-isolierungen
- Transienten-Messsystem mit 100 MHz Abtastrate, 10 Bit-Auflösung
- Digitaloszilloskope bis 1 GHz
- E- und H-Feldmesssysteme bis 100 MHz Bandbreite
- breitbandige Teilentladungsmesstechnik für Spannungen bis 600 kV
- Störspannungsmesstechnik bis 30 MHz
- Messtechnik zur Ermittlung von Isolierstoffkennwerten (z. B. Verlustfaktor, Dielektrizitätszahl, Oberflächen- und Volumenwiderstand) nach IEC- und DIN VDE-Normen
- Prüf- und Messtechnik für Lebensdaueruntersuchungen an Isolierstoffen
- Hochstrom-Prüfanlagen bis 50 kA Stoßkurzschlussstrom, 15 kA Kurzzeitstrom und 10 kA Dauerstrom
- Prüf- und Messtechnik für Erwärmungsuntersuchungen an elektrotechnischen Betriebsmitteln
- Prüf- und Messtechnik für Untersuchungen der Stromtragfähigkeit von Kontakten und Verbindungen
- Infrarotkamera Varioscan 2011
- Thermografiesystem VarioCAM(tm) research - komplett ausgestattetes Echtzeit-Thermografiesystem für universellen portablen Einsatz und PC-gestützte Datenakquisition
- Prüf- und Messtechnik zur Untersuchung der mechanisch-dynamischen Beanspruchung elektrotechnischer Betriebsmittel
- Referenz-Messsysteme nach IEC 60060-2 für 500 kV Stoßspannung, 200 kV Wechselspannung und 125 kV Gleichspannung
- Kalibrator für elektrische Messmittel

- 20 Versuchsstände für Lehre und Forschung an der Professur Elektroenergieversorgung
- Dreiphasiges Dynamisches Netzmodell:

Zeitmaßstab	1 : 1
Spannungsmaßstab	1 : 500
Strommaßstab	1 : 20

Das Netzmodell besteht aus: Modellbausteine für 2 Turbogeneratoren je 63 MVA, 150 km 220-kV-Doppelleitung und drei Schaltstationen. Es ist ausgerüstet mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung SIMATIC S 400 für die Systemsteuerung und Betriebsmessung, mit digitalem Netzschutz und digitaler Stationsleittechnik.
- Netzgekoppelte Photovoltaikanlage:

Gr. 1	0,3 kW Poli-c, nachgeführt
Gr. 2	1,1 kW mono-c, 45° Süd
Gr. 3	1,1 kW mono-c, 40 ... 55° Süd

mit unterschiedlichen, selbst- und netzgeführten, Wechselrichtern sowie rechnergekoppelter Messtechnik für elektrische und meteorologische Daten
- Transientenrecorder:

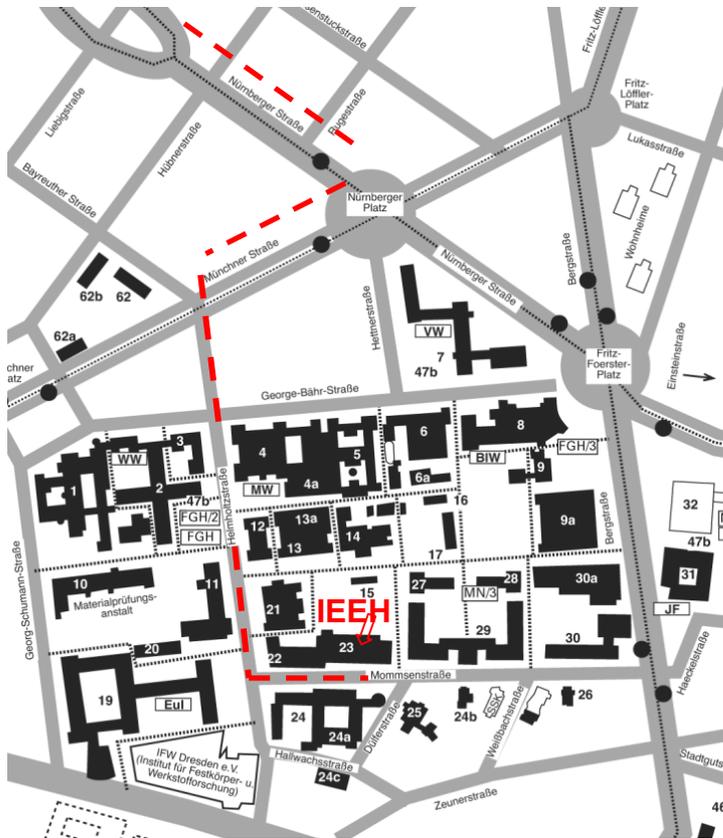
Die wesentlichen technischen Daten sind:
 14 isolierte Eingangskanäle; Abtastraten bis 100 kHz; Genauigkeit von 16 Bit; Speichertiefe von 1 GByte
- Vierkanalige Digitaloszilloskope mit Abtastraten bis 2 GS/s
- Batteriegespeiste B-Feld-Sonde für niederfrequente dreidimensionale Messungen 0 bis 10 kHz, in den Messbereichen 10 mT, 1 mT und 300 μ T, mit Auswertegerät für die digitale Abtastung und Speicherung (einschließlich Uhrzeit auf Diskette oder Memory-Card)
- Batteriegespeiste E-Feld-Sonde für niederfrequente eindimensionale Messungen 10 Hz bis 10 kHz in den Messbereichen 10; 1 und 0,1 kV/m mit Infrarot-Fernbedienung und digitaler Speicherung auf Memory-Card
- Versuchsstand für numerische Schutzgeräte mit Leitungsnachbildung und Fehlersimulation durch PC und dreikanaligen Leistungsverstärkern für Ströme und Spannungen
- Transportabler Prüfkoffer für die Prüfung von Schutzrelais
- Dreiphasiger Energiequalitätsanalysator für harmonische Analysen bis zur 99. Oberschwingung und Flickerbestimmung nach IEC 868 mit Steuerrechner zur Messwertspeicherung und Auswertung einschließlich Protokollerstellung
- Einphasiges Oberschwingungsmessgerät bis zur 50. Harmonischen mit statischen Auswerteverfahren und Protokoll drucker
- Burstgenerator 3 bis 8 kV

- ESD-Pistole 8 bzw. 15 kV
- Elektroenergiequalitätsanalysator TOPAS 1000 der Firma LEM zur Messung im Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz. 8 galvanisch getrennte Eingangskanäle, serielle Schnittstelle, Ethernetanschluss und umfangreiche Auswertesoftware
- Optisches Impulsreflektometer Anritsu MW9070B zur Überprüfung der Qualität von Lichtwellenleiterverbindungen bis 100 km Länge
- Netzqualitätsanalysator mit Transientenfunktion Dewetron PNA 3000, 8 galvanisch getrennte Kanäle zur Spannungs-, Strom-, Leistungs-, Oberschwingungs-, Spektrum- und Flickeranalyse

Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Besucheradresse: Mommsenstr. 10, Binder-Bau, 01069 Dresden

Anfahrtsbeschreibung:



- Autobahn A 4
am Dreieck Dresden-West in Richtung Dresden-Gorbitz (A17)
- nach 1500 m Ausfahrt Dresden-Gorbitz
- am Ende der Ausfahrt rechts abbiegen auf B 173 in Richtung Dresden-Zentrum bis zum Bransch-Tunnel
- nach Tunnel-Ausfahrt rechts halten in Richtung Zentrum/Prag – weiter über Nossener Brücke
- am Ende der Brücke (Kreuzung Chemnitzer Straße) geradeaus in Richtung Prag/Pirna bis zum Nürnberger Platz
- am Nürnberger Platz rechts abbiegen auf Münchner Straße
- nach ca. 180 m links abbiegen auf Helmholtzstraße
- nach 450 m links abbiegen auf Mommsenstraße