

Jahresbericht 2003

	Seite
Vorwort	3
1 Personelle Besetzung	5
2 Lehre	7
2.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika	7
2.2 Exkursionen	9
2.3 Diplomarbeiten	9
2.4 Studienarbeiten	10
3 Forschung	11
3.1 Kurzberichte aus laufenden Forschungsarbeiten	11
3.2 Dissertationen	33
3.3 Veröffentlichungen	35
3.4 Vorträge	36
4 Externe Aktivitäten und Kontakte	38
4.1 Teilnahme an Fachtagungen und Kolloquien	38
4.2 Veranstaltungen des Instituts	40
4.3 Weiterbildung	43
4.4 Mitarbeit in Gremien	43
5 Prüf-, Mess- und Labortechnik des Instituts	45

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/>

Sehr geehrte Freunde
des Instituts für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik,

die Investitur des neuen Rektors der Technischen Universität Dresden, Herrn Prof. Kokenge, fand im Herbst des letzten Jahres statt. Im Rahmen dieser feierlichen Veranstaltung wurde die Arbeit seines Vorgängers, Herr Prof. Mehlhorn, der 9 Jahre dieses Amt inne hatte, gewürdigt. Herr Prof. Kokenge hat als neuer Rektor nun die Aufgabe und die Chance, die Technische Universität Dresden durch eine Zeit mit vielen Veränderungen zu führen. So sollen in den nächsten Jahren konsekutive Ausbildungsgänge in allen Studiengängen der Universität eingeführt werden und die Vergabe der Haushaltsmittel leistungsbezogen erfolgen.

Am Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik hat es ebenfalls personelle Veränderungen gegeben. Herr Prof. Großmann hat im Herbst des vergangenen Jahres den Ruf auf die Professur für Hochspannungs- und Hochstromtechnik angenommen. Neben neuen Aufgaben in der Lehre hat Herr Prof. Großmann bereits Anstrengungen unternommen, die Forschungsaktivitäten auf seinem Gebiet auszuweiten. Das gesamte Institut freut sich auf die Zusammenarbeit mit Prof. Großmann.

Das Institut war im letzten Jahr durch eine Reihe von Umbau- und Instandsetzungsmaßnahmen betroffen, die zum Teil erfolgreich abgeschlossen wurden. Der Umzug der ersten Praktikumsversuche vom Zelleschen Weg in die instandgesetzten Räume im Töpferbau ist vollzogen. Die Versuche werden im kommenden Semester wieder für das Praktikum zur Verfügung stehen. Das „Dynamische Drehstrom-Demonstrationsmodell“ soll bis zum Wintersemester wieder betriebsbereit sein. Eine positive Entwicklung hat auch die Instandsetzung des Hochstromversuchsfeldes genommen. Die vollständige Inbetriebnahme soll im Jahr 2005 erfolgen. Die Treppe am Binder-Bau und damit der Schweißraum unserer Werkstatt wurde ebenfalls erneuert.

Die Immatrikulationszahlen haben sich an der Fakultät positiv entwickelt. So wurden im Wintersemester ca. 235 Studenten neu im Studiengang Elektrotechnik eingeschrieben. Dies ist ein Anstieg von ca. 15 % gegenüber dem Vorjahr. Beim Studiengang Mechatronik, der gemeinsam von der Fakultät Maschinenwesen und der Fakultät Verkehrswissenschaften getragen wird, haben sich die Studentenzahlen sogar fast verdoppelt. Dort wurden ca. 240 Studenten neu immatrikuliert. Im Studiengang Informationssystemtechnik gab es einen kleinen Rückgang bei den Anfängerzahlen. In Summe wurden an der Fakultät fast 550 Studenten neu immatrikuliert.

Etwa 20 Studenten haben sich im 5. Semester für die Vertiefungsrichtung Elektroenergie-technik entschieden. Dies ist ein erheblicher Anstieg gegenüber dem vorangegangenen Jahr. Der Bedarf an Ingenieuren auf diesem Gebiet ist sehr groß. Es bestehen Probleme, geeignete Absolventen für die am Institut laufenden Projekte zu gewinnen.

Die Anzahl und der Umfang der Forschungsaktivitäten hat sich im letzten Jahr ebenfalls positiv entwickelt. So konnte die Zusammenarbeit mit ABB auf dem Gebiet der Hochstromtechnik weiter intensiviert werden. Darüber hinaus wurde ein Rahmenvertrag mit Vattenfall Europe Transmission, ehemals VEAG, über die Forschungszusammenarbeit abgeschlossen. Die ersten beiden Forschungsprojekte wurden schon gestartet. Für ein weiteres Forschungsprojekt, das im nächsten Jahr beginnt, ist der Vertrag bereits unterschrieben. Die Zusammenarbeit mit Siemens auf dem Gebiet der impulsförmigen Spannungsbeanspruchungen wurde begonnen und beim Thema „Arbeiten unter Spannung“ gibt es ebenfalls eine feste Kooperation mit einem Industriepartner.

Als besondere akademische Ereignisse des vergangenen Jahres sind die Niederspannungsfachtagung und die Tagung „Arbeiten unter Spannung“ herauszustellen. Herr Dr. Freytag und Herr Dr. Engelmann haben durch ihr Engagement wesentlich zum Erfolg dieser beiden Tagungen beigetragen. Die Tagungen stärken die Reputation des Institutes auf den entsprechenden Fachgebieten. Beiden Herren danke ich an dieser Stelle nochmals für ihren großen Einsatz bei der organisatorischen und inhaltlichen Gestaltung der Tagungen.

Im kommenden Jahr sollen auch wieder einige akademische Veranstaltungen am Institut durchgeführt werden. In Dresden werden das sich jährlich wiederholende „Wissenschaftliche Hochspannungskolloquium“ und der „Dresdner Kreis“ durchgeführt. Darüber hinaus planen wir im Frühjahr 2004 ein Ehrenkolloquium für Prof. Pundt anlässlich seines 75. Geburtstages und im Herbst ein Ehrenkolloquium zum 100. Geburtstag von Prof. Obenaus. Zu beiden Veranstaltungen lade ich Sie hiermit herzlich ein.

Ich nehme diesen Jahresbericht zum Anlass, allen Mitarbeitern 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 2003

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 (ab 01.12.03)	33428
Emeriti	Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Eberhardt	
	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt	34574
	Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler	35088
Sekretariat	Regina Scharf	34374/33428
Wiss. Mitarbeiter	Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer	35104
	Dr.-Ing. Eberhard Engelmann (Laborleiter)	33103
	Dr.-Ing. Karl-Heinz Freytag	33413
	PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl	32138
	Dr.-Ing. Franz Mach	35336
	Dr.-Ing. Joachim Speck	33105
	Dipl.-Ing. Thoralf Bohn	35353
	Dipl.-Ing. Christoph Gramsch	33080
	Dipl.-Ing. Sven Höpfner	35353
	Dipl.-Ing. Mario Jochim	34756
	Dipl.-Ing. Rainer Luxenburger	35223
	Dipl.-Ing. Tomasz Magier	34756
	Dipl.-Ing. Jan Meyer (ab 01.09.03)	35102
	Dipl.-Ing. Georg Pilz	35272
	Dr.-Ing. Helmut Scholz	34756
Dipl.-Ing. Ralph-Peter Schulz	32941	
Kollegiaten	Dipl.-Ing. Gerit Eberl (bis 31.08.03)	35365
	Dipl.-Ing. Matthias Hable (bis 30.04.03)	32941
	Ing. Piergiovanni La Seta (ab 01.05.03)	35272
	Dipl.-Ing. Peter Vlcek (ab 01.01.03)	35223
Techn. Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres	32613
	Dipl.-Ing. Rainer Luther	35222
	Monika Markow	32214
	Rotraud Riester	33202

Werkstatt	Ralf Dittrich	34745
	Michael Gläser	34260
	Gerd Jaroszczyński	34745
	Helge Knüpfel	34260
	Peter Wermuth	33516
	Falk Wolf	33729
Gastwissenschaftler	Prof. Lobos	TU Wroclaw/Polen (01.07.-30.09.03)
	Dr. Okafor	Universität Lagos/Nigeria (15.01.-06.12.03)

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. P. Schegner / Dr.-Ing. J. Speck	0 / 0 / 2	2 / 1 / 0
Hochspannungstechnik 2 Prof. Dr.-Ing. P. Schegner	2 / 1 / 0	0 / 0 / 1
Hochspannungs-Isoliertechnik Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / 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. P. Schegner / Dr.-Ing. E. Engelmann		2 / 0 / 1
Blitzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dr.-Ing. E. Engelmann	1 / 0 / 0	
Statistik für Elektrotechniker Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / 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
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/ Dr.- Ing. K.-H. Freytag		2 / 1 / 1
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieurwesen Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. G. Winkler		2 / 0 / 1
Elektronische Gerätetechnik / Thermische Dimensionie- rung 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:

- | | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16.01.2003 | Transformatorenwerk Siemens AG, Dresden |
| 22.01.2003 | Stahl- und Walzwerk Riesa |
| 16.03.2003 | CeBIT Hannover |
| 12.04.2003 | Hannover Messe Industrie |
| 16.05.2003 | UESA Uebigau |
| 27./28.05.2003 | Vattenfall Europe Transmission GmbH, Netzbetrieb Sachsen, Dresden |
| 10.-14.06.2003 | Große Exkursion ins Ruhrgebiet:
Fa. Bender (Netzschutztechnik) Grünberg; 4500 MW Steinkohlen-KW Scholven; Kraftwerkssimulator Essen; Siemens Generatoren und Turbinen Mühlheim; ABB Calor Emag Ratingen; Forschungszentrum Jülich; Sendeanlagen WDR in Köln; UW und Museum Recklinghausen; Deutsche Arbeitsschutzausstellung (DASA) |
| 15.07.2003 | ALSTOM Dresden |
| 21./28.11.2003 | Heizkraftwerk Nossener Brücke in Dresden |

2.3 Diplomarbeiten

Schierjott, F.: Definition charakteristischer Kenngrößen und typischer Netzformen durch statistische Analyse geeigneter Strukturdaten ausgewählter Niederspannungsnetze

DA 01/2002 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Flemming, St.: Bestimmung von Ähnlichkeitsfunktion für den konvektiven Wärmeübergang in Mittelspannungsschaltanlagen

DA 01/2003 (Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Gramsch)

Winterfeld, J.: Untersuchungen zur Spannungsumstellung von 10 kV auf 20 kV eines 10-kV-Kabelnetzes der enviaM

DA 02/2003 (Betreuer: Dr.-Ing. F. Mach)

2.4 Studienarbeiten

Grecksch, S.: Bestimmung der Spannungsqualität im Niederspannungsnetz in Abhängigkeit von Abnehmer- und Netzstruktur

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

Kreher, St.: Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanz ausgewählter NS-Versorgungen eines großen Industriebetriebes unter Berücksichtigung des Einsatzes von Kompensationsanlagen

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

Werner, T.: Untersuchungen zum elektrischen Strömungsfeld und zur mechanischen Spannung in einer elektrischen Verbindung

(Betreuer: PD Dr.-Ing. habil. H. Löbl)

Kafurke, Th.: Berechnung der Strömung der Luft und der Erwärmung der Stromschienen in einem belüfteten Kanal mit FLOTRAN-ANSYS

(Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Gramsch)

3 Forschung

3.1 Kurzberichte aus laufenden Forschungsarbeiten

Bewertung der Spannungsqualität durch Ähnlichkeitsanalysen

Für eine Analyse der Ursachen und Auswirkungen von Verminderungen der Elektroenergiequalität sind Ähnlichkeitsanalysen zwischen verschiedenen Qualitätskenngrößen und Verknüpfungspunkten von entscheidender Bedeutung. So können detaillierte Aussagen über die Art des Einflusses bestimmter Netz- und Abnehmerstrukturen bzw. Abnehmergewohnheiten auf die Elektroenergiequalitätskenngrößen getroffen werden.

Die Untersuchung der Ähnlichkeiten erfolgt durch die Korrelationsanalyse. Entsprechend den Erfordernissen werden bestimmte Intervalle der Zeitverläufe ausgewählter Elektroenergiequalitätskenngrößen miteinander korreliert. Werden mehr als 2 Stichproben miteinander korreliert, ergibt sich die empirische Korrelationsmatrix \mathbf{K} .

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{M1} & \cdots & K_{MM} \end{pmatrix} \quad (1)$$

M Anzahl der korrelierten Stichproben

Die Korrelationsmatrix ist für die Autokorrelation spiegelsymmetrisch und enthält in der Hauptdiagonale die Korrelation jeder Stichprobe mit sich selbst. Der Wert dieser Eigenkorrelationsfaktoren beträgt immer 1 und ist, wie der spiegelsymmetrische, unterhalb der Hauptdiagonalen gelegene Teil, für die Auswertung uninteressant.

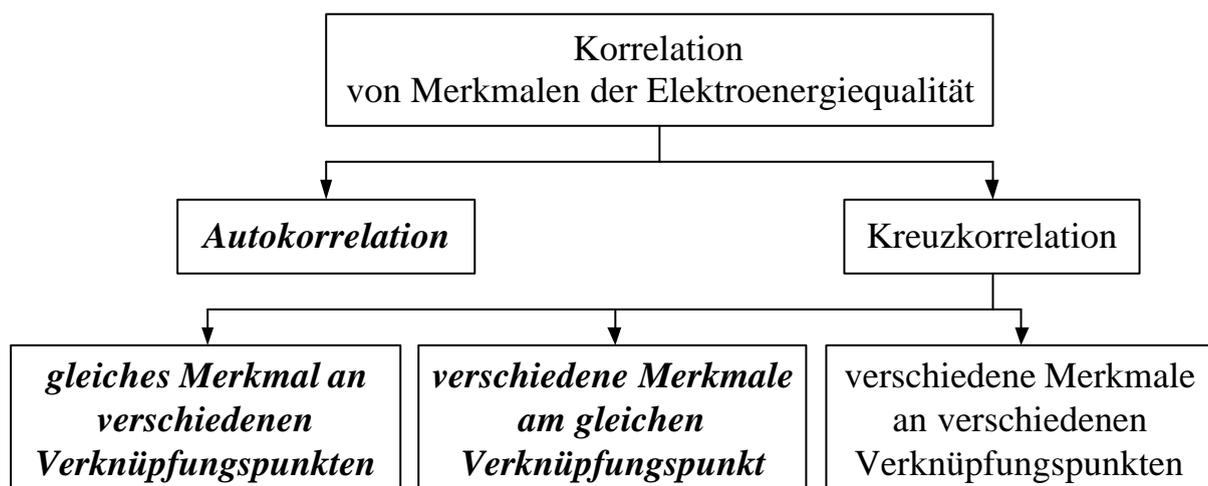


Bild 1: Varianten der Korrelation

Bild 1 gibt einen Überblick der verschiedenen Korrelationsvarianten. Autokorrelationen untersuchen *eine* Elektroenergiequalitätskenngröße an *einem* Verknüpfungspunkt zu verschiedenen Zeitpunkten. Dadurch lassen sich u. a. Unterschiede

im Abnehmerverhalten an Werktagen und Wochenenden oder saisonale Veränderungen erkennen. Kreuzkorrelationen dienen der Erkennung von Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Elektroenergiequalitätskenngrößen an einem oder verschiedenen Verknüpfungspunkten innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls. Oftmals kann an verschiedenen Verknüpfungspunkten, bspw. aufgrund einer begrenzten Zahl von Messgeräten, nicht gleichzeitig, sondern nur unmittelbar hintereinander gemessen werden. Auch in diesem Fall ist die Anwendung der Kreuzkorrelation möglich, wenn sich der Charakter des Verlaufes der zu korrelierenden Elektroenergiequalitätskenngrößen über den gesamten Messzeitraum nicht signifikant ändert. Die Untersuchung verschiedener Merkmale an verschiedenen Verknüpfungspunkten ist praktisch nicht relevant.

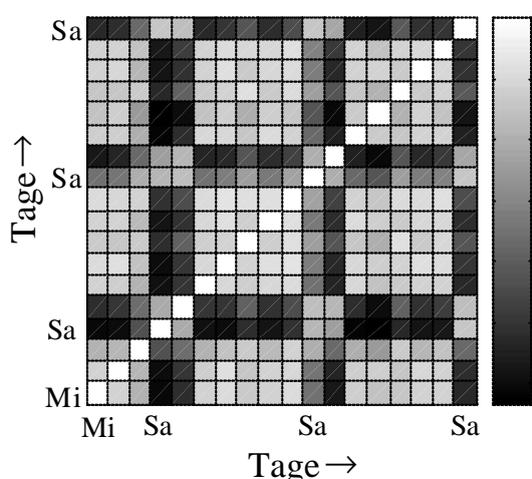


Bild 2: Autokorrelationskoeffizienten der 5. Stromharmonischen

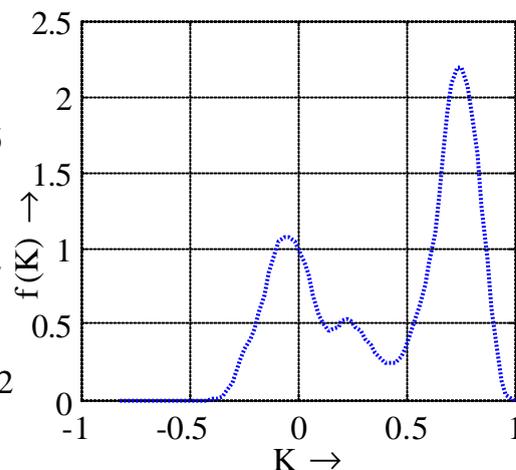


Bild 3: Verteilungsdichte des Korrelationskoeffizienten

Als Beispiel für die Autokorrelationsmatrix im Bild 2 dient eine Messung der 5. Stromharmonischen, die an der NS-Sammelschiene einer gewerblichen Abnehmerstruktur über knapp 3 Wochen durchgeführt wurde. Die Messung wird in insgesamt 18 Tage zerlegt. Jedes Quadrat im Bild 2 entspricht einem Autokorrelationskoeffizienten, dessen Wert durch die Farbe repräsentiert wird. Während Werkzeuge mit Werktagen und Wochenenden mit Wochenenden gut korrelieren ($K > 0,6$), besteht zwischen Wochenenden und Werktagen praktisch kein direkter Zusammenhang ($K \approx 0$). Demnach kann von einem ähnlichen Verhalten der Abnehmerstruktur an Werktagen bzw. an Tagen des Wochenendes ausgegangen werden. Die empirische Verteilungsdichte der Korrelationskoeffizienten im Bild 3 bestätigt 2 verschiedene charakteristische Zustände (2 Verteilungsgipfel).

Jan Meyer

Leistungsfähigkeit des Deltaverfahrens zur Berechnung der Erdschlussdistanz in kompensierten Energieverteilungsnetzen

Die Kompensation des Erdschlussstromes in induktiv geerdeten Netzen ermöglicht die Weiterführung des Netzbetriebes und damit die Aufrechterhaltung der Energieversorgung im Falle eines Erdschlusses. Eine Folge der mit dem Fehler einhergehenden Spannungserhöhung können Doppelerdschlüsse sein, deren Fehlerströme deutlich höher sind und sowohl zur Gefährdung von Personen als auch zur Zerstörung von Betriebsmitteln führen können. Um diese Fehlerausweitung zu verhindern, sollte bereits der einpolige Erdschluss innerhalb kurzer Zeit lokalisiert werden.

Es wurde ein Berechnungsmodell erarbeitet [Eberl01], welches auf der Auswertung der stationären Grundswingungsanteile von Nullstrom und Nullspannung sowie Leiter-Erde-Spannung und Leiterstrom des fehlerbetroffenen Leiters basiert. Die Erfassung der Spannungskomponenten erfolgt an der Sammelschiene, die Ströme werden am Leitungsanfang des jeweiligen Abganges gemessen. Anhand simulierter Erdschlüsse wurde die Leistungsfähigkeit des Delta-Algorithmus untersucht. Das Simulationsmodell berücksichtigt eine Vielzahl von Parametern, wie Netzgröße, Ausgangsverstimmungsgrad und Verstimmungsgradänderung. Dabei wird die fehlerbetroffene Leitung sowohl als Freileitung als auch als Kabel angenommen. Neben der dem Berechnungsmodell zu Grunde liegenden radialen Struktur stellt die Simulation ringförmiger und vermaschter Netzstrukturen einen weiteren Bestandteil der Untersuchung dar.

Die vereinfachte Modellierung der Querströme des Nullsystems ist vor allem in Freileitungen zulässig. Hier werden im Bereich niederohmiger Erdschlüsse Berechnungsfehler kleiner 10 % erreicht. Mit Erhöhung der Verstimmungsgradänderung Δv steigt die Genauigkeit der Entfernungsbestimmung. Somit können unter der Voraussetzung einer großen Verstimmungsgradänderung in Freileitungen auch hochohmige Fehler lokalisiert werden.

Durch den verteilten Anschluss der Lastimpedanz tritt eine Erhöhung des Berechnungsfehlers auf, der aber für niederohmige Erdschlüsse in einem tolerierbaren Bereich ($F_{\text{proz}} = 10 \%$) liegt.

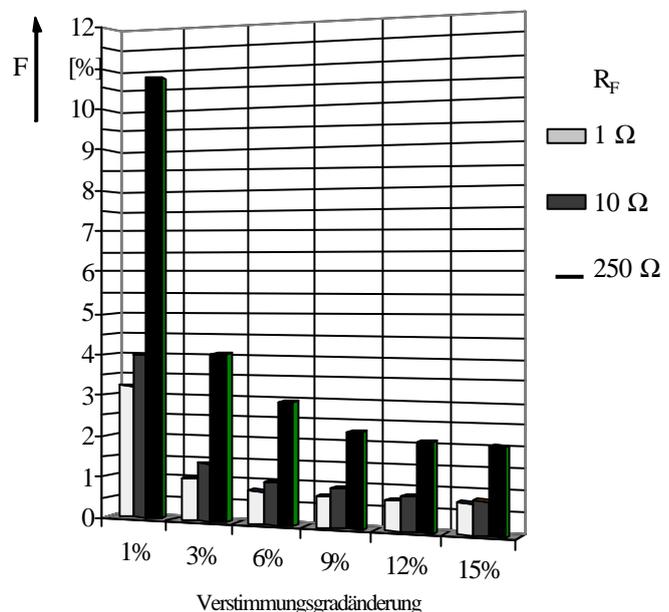


Bild 1: Prozentualer Fehler als Funktion von Fehlerwiderstand und Verstimmungsgradänderung (Freileitung)

Abweichungen von der radialen Netzstruktur haben eine in Abhängigkeit von der Fehlerentfernung und vom Impedanzbelag der Leitung veränderte Aufteilung des Fehlerstromes zur Folge. In Freileitungen traten bei ringförmiger Struktur bis über die Hälfte des Leitungsrings hinaus Berechnungsfehler $F_{\text{proz}} = 10\%$ auf. In vermaschten Netzen sind an jeder Verzweigung Messeinrichtungen erforderlich. Niederohmige Erdschlüsse, die sich in Vorwärtsrichtung im Nahbereich ($x_F < 15\text{ km}$) einer Messstelle befinden, können wiederum mit hoher Genauigkeit lokalisiert werden. Mit Erhöhung des Fehlerwiderstandes und der Fehlerentfernung erhöht sich der Berechnungsfehler, da in diesen Fällen die messbaren Differenzgrößen sehr klein sind.

Die Problematik der Erdschlussentfernungsbestimmung in Kabeln liegt in der vereinfachten Modellierung des berechneten Fehlerstromes [Eberl01]. Dieser Modellfehler wirkt sich vor allem bei großen Änderungen des Nullsystemquerstromes, d. h. bei großem Admittanzbelag und großer Nullspannungsänderung aus. Letztere ist minimal für niederohmige Erdschlüsse mit $R_F < 50\ \Omega$. In diesem Fall werden wiederum Berechnungsfehler $F_{\text{proz}} = 10\%$ erreicht.

Größere Fehlerwiderstände bedingen einen größeren Modellierungsfehler, der in sehr ungenauen Ergebnisse resultiert $F_{\text{proz}} > 20\%$. Anders als in Freileitungen kann eine Erhöhung der Verstimmungsgradänderung Δv nicht zu einer Verbesserung des Ergebnisses genutzt werden, da mit Δv auch die Nullspannungsänderung und somit der Modell- und Berechnungsfehler ansteigen. In ringförmigen und vermaschten Netzen verschärft sich diese Problematik auf Grund der geringen Fehlerstromänderung.

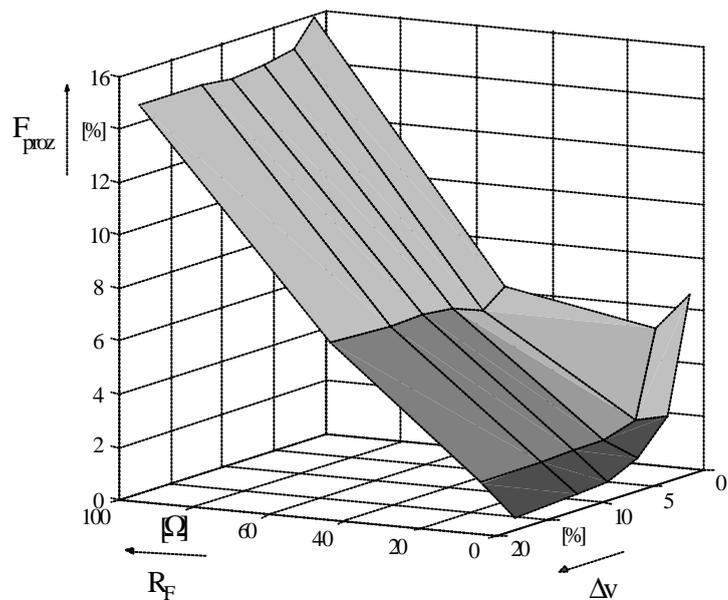


Bild 2: Prozentualer Fehler als Funktion von Fehlerwiderstand und Verstimmungsgradänderung (Kabel)

Eine sinnvolle Anwendung des Verfahrens in Kabelnetzen ist deshalb nur bei niederohmigen Erdschlüssen möglich.

Gerit Eberl

[Eberl01] Eberl, G.: Ermittlung der Erdschlussentfernung durch Auswerten der symmetrischen Komponenten (Deltamethode) Institut für Elektroenergieversorgung, TU Dresden 2001, Bericht 1096/00

Lichtbogenmessungen in verschiedenen Mittelspannungsnetzen

Die Vorteile der kompensierten Sternpunktbehandlung für die Elektroenergieversorgung sind inzwischen uneingeschränkt anerkannt, daher wird sie in den meisten Mittelspannungs- und 110-kV-Netzen eingesetzt. In der internationalen Entwicklung (z. B. Frankreich) zeigt sich, dass diese Art der Sternpunktbehandlung auch in den Verteilungsnetzen anderer Länder Einzug hält. Der größte Teil der einpoligen Fehler tritt als Lichtbogenerdschluss auf. Dieser sollte so schnell wie möglich von selbst verlöschen, um die Beschädigung bzw. Zerstörung von elektrischen Betriebsmitteln und die Gefährdung von Personen zu minimieren, sowie Folgefehler (Doppelerdschlüsse) zu vermeiden. Durch den verstärkten Ausbau von Kabelstrecken in städtischen und ländlichen Mittelspannungsnetzen bzw. durch die Bildung von größeren Mittelspannungs-Netzen steigt der kapazitive Erdschlussstrom stark an. Dieser wirkt sich direkt auf die Höhe des Erdschlussreststromes aus.

Die steigenden Harmonischen im Erdschlussreststrom müssen bei der Beurteilung der Grenzen dieser Sternpunktbehandlung beachtet und deren Einfluss abgeschätzt werden. Die Grenzen der Resonanzsternpunktterdung muss unter diesen Gesichtspunkten betrachtet werden.

Der Zusammenhang zwischen dem Lastzustand des Netzes, den Verbrauchertypen und den Harmonischen im Erdschlussreststrom wurde bisher noch nicht systematisch untersucht. Selbst die Quellen dieser Harmonischen sind bisher noch nicht abschließend bekannt. Eine erste Untersuchung dieser Fragen wird zur Zeit am IEEH durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung ist eine Aussage zur Verteilung und Entstehung der Harmonischen, um fundierte Angaben zum Anteil der Harmonischen im Erdschlussreststrom treffen zu können.

Es ist nicht ersichtlich, ob und bis zu welcher Höhe die Harmonischen im Erdschlussreststrom bei den in der DIN VDE 0228 Teil 2 angegebenen zulässigen Erdschlussrestströmen berücksichtigt sind. Geht man davon aus, dass es sich bei den angegebenen Grenzen um Effektivwerte handelt, setzt dieser sich aus dem Wirkanteil, dem Blindanteil und den Harmonischen zusammen. Die Harmonischen im Erdschlussreststrom können, in Abhängigkeit von der Netzkonstellation, die Größe der Grundschwingung erreichen. Bei der Annahme, dass der in der Norm angegebene Grenzwert ein Effektivwert ist, würde dieser häufig überschritten. Andererseits können die Harmonischen durch die gestiegene Anzahl der Nulldurchgänge die Löschfähigkeit des Erdschlusslichtbogens positiven beeinflussen.

Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge wurde am IEEH ein Lichtbogenmodell entwickelt. Dieses basiert auf der zweifach modifizierten Lichtbogengleichung nach Mayr. Durch Lichtbogenmessungen soll dieses Modell verifiziert werden. Die Messungen mit Erdschlusslichtbögen wurden in mehreren MS-Netzen durchgeführt.

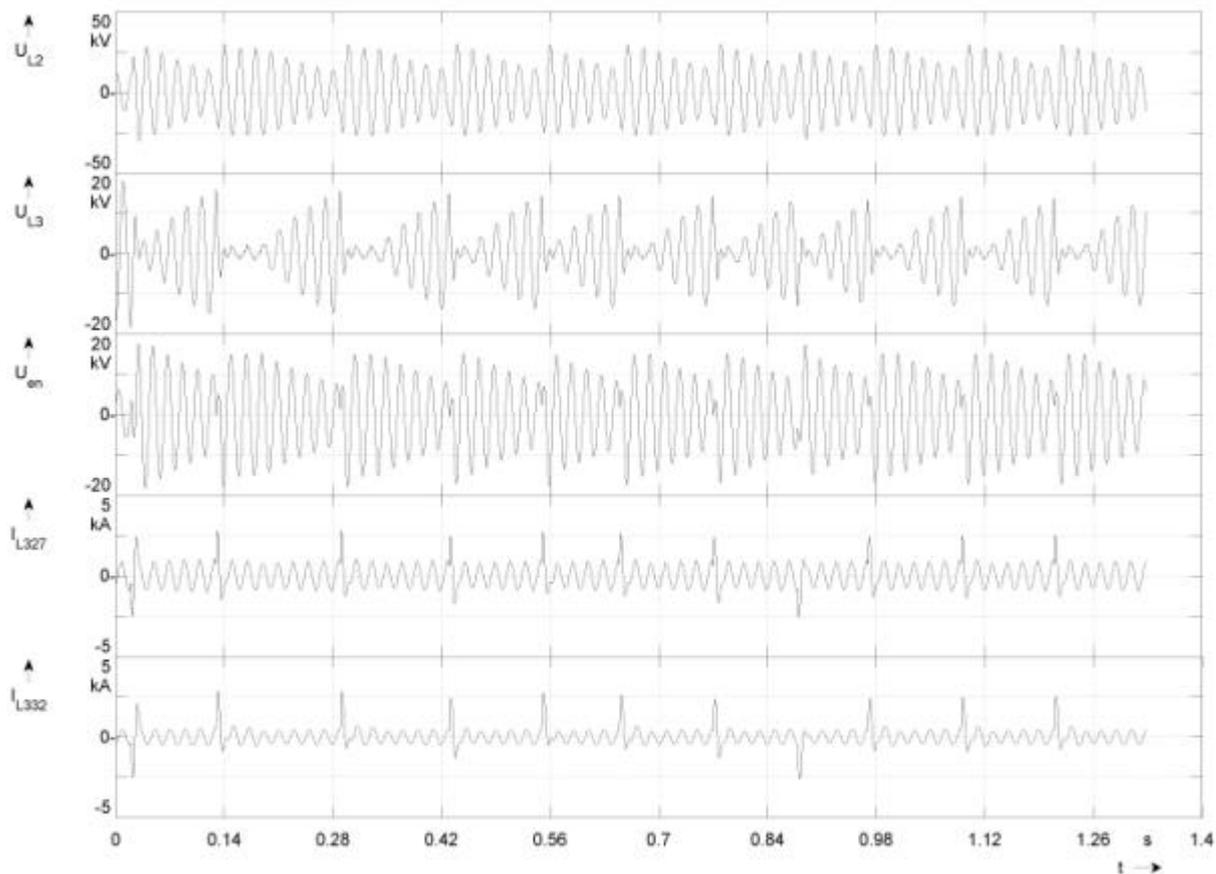


Bild 1: Wiederzündender Lichtbogen bei 1 cm Elektrodenabstand und 10 % Überkompensation in einem 20-kV-Mittelspannungsnetzausläufer, aufgezeichnet im entfernten UW

Dabei wurden verschiedene Versuchsanordnungen gewählt. Die Lichtbögen wurden zwischen zwei Elektroden parallel zum Isolator, die den Überschlagweg des Isolators verkürzen, an offenen Trennern und an beschädigten Kabeln gezündet. Für die EVU stand der Nachweis der Löschfähigkeit ihres Netzes beziehungsweise die Funktionalität des Erdschlussschutzes im Vordergrund. Ich möchte mich bei den EVU für die Möglichkeit der Teilnahme an den Lichtbogenmessungen bedanken.

Es wurde bei unterschiedlichen Verstimmungen und verschiedenen Betriebsspannungen gemessen. Hierdurch ergaben sich Erdschlusswischer, intermittierende und stehende Lichtbogenfehler. In Bild 1 ist ein intermittierender Lichtbogen dargestellt. Zu sehen sind sowohl die Spannungen des erdschlussfreien Leiters L2, des erdschlussbetroffenen Leiters L3 und der Verlagerungsspannung U_{en} , als auch die Ströme der Leiter L3 der beiden speisenden Leitungen im UW. Deutlich ist das zyklische Zusammenbrechen der Spannung des erdschlussbetroffenen Leiters L3 zu erkennen.

Die Lichtbogenparameter konnten aus den ersten Messungen bestimmt und für die Parametrierung des Simulationsmodells verwendet werden.

Sven Höpfner

Grundlagenuntersuchungen zur Stabilität in lokalen Energieversorgungsnetzen

Ziele der Untersuchungen sind die Beurteilung der Stabilität in lokalen Energieversorgungssystemen bzw. der Entwurf von Spannungsreglern (AVR) und Pendeldämpfungseinrichtungen (PSS) für diese lokalen Systeme. Im Rahmen dieser Aufgabe wurden erste Untersuchungen durchgeführt, um sowohl Simulationswerkzeuge (wie ATP oder NETOMAC) als auch Analyseverfahren (z. B. die Lyapunov-Methode) zu bewerten.

Hierzu wurde ein kleines Beispielnetz modelliert. In diesem wird ein Synchrongenerator durch einen Transformator und eine Leitung mit einem starren Netz verbunden. Es wurden verschiedene Varianten der Reglerausrüstung untersucht: ohne Regler, nur mit AVR (Automatic Voltage Regulator) und sowohl mit AVR als auch PSS (Power System Stabilizer). Als Systemanregung wurde ein dreipoliger Kurzschluss in Leitungsmitte angenommen.

Die Struktur des PSS wurde mit Hilfe der Lyapunov-Methode entworfen. Der Lehrsatz nach Lyapunov besagt, dass die Gleichgewichtspunkte eines dynamischen Systems stabil sind, wenn eine Systemfunktion existiert, die vorgegebenen Bedingungen genügt. Diese Funktion wird Lyapunov-Funktion genannt.

Das Verhalten der Synchronmaschinen kann durch ein System von elektrischen und mechanischen Gleichungen beschrieben werden. Dieses Gleichungssystem kann man analysieren, weil die Beziehungen für die innere EMK und die Wirkleistung dort enthalten sind. Nach Lyapunov muss man die Energiefunktion des Systems aufstellen, diese wird als Lyapunov-Funktion bezeichnet. Die Energiefunktion ist das Integral der Leistung über der Zeit. Im Fall einer Störung kann man mit dieser Energiefunktion die maximale Abweichung vom Arbeitspunkt bestimmen und damit die Stabilität des Generators bzw. des Energiesystems überprüfen oder die Stabilitätsgrenzen quantifizieren.

Wenn man in der Beschreibung der Lyapunov-Funktion die Dynamik des Erregungsflusses berücksichtigt, kann man den Einfluss eines Reglers untersuchen. Für ein Generatormodell dritter Ordnung wurde die Lyapunov-Funktion unter Berücksichtigung der Dynamik des Erregerflusses bestimmt. Es wurde eine Spannungsregelung angenommen, während die Turbineleistung konstant blieb.

Bild 1 zeigt das Netzmodell, das untersucht wurde. Der regelbare Generator wird mit AVR und PSS unterstützt; der AVR-Spannungsregler bekommt die Spannungssignale und die Spannungsreferenz und gibt einen ersten Wert der Erregungsspannung vor. Dieser Wert ist das Eingangssignal für den PSS-Regler, der den eigentlichen Sollwert für die Erregungsspannung ausgibt.

Die Ergebnisse findet man in den Bildern 2 und 3. Die durch die Störung im Netz hervorgerufenen Leistungspendelungen werden durch die Kombination aus AVR- und PSS-Regler schneller gedämpft, als nur durch einen AVR-Spannungsregler.

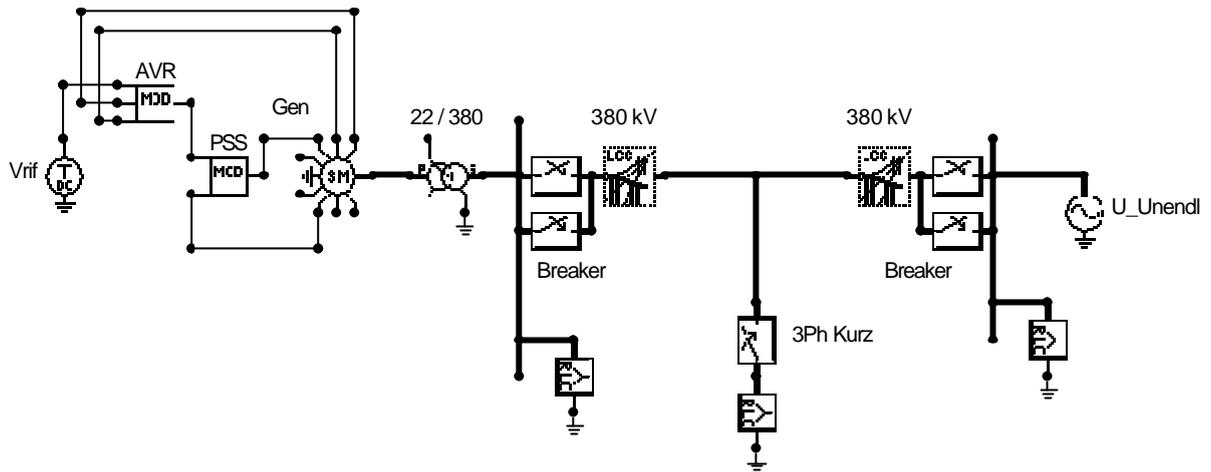


Bild 1: Einfaches Testnetz mit Regelung

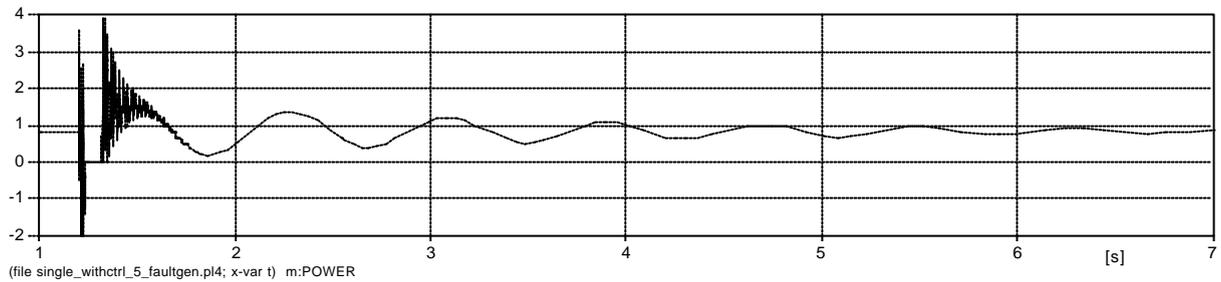


Bild 2: Wirkleistung des Generators mit AVR Regelung

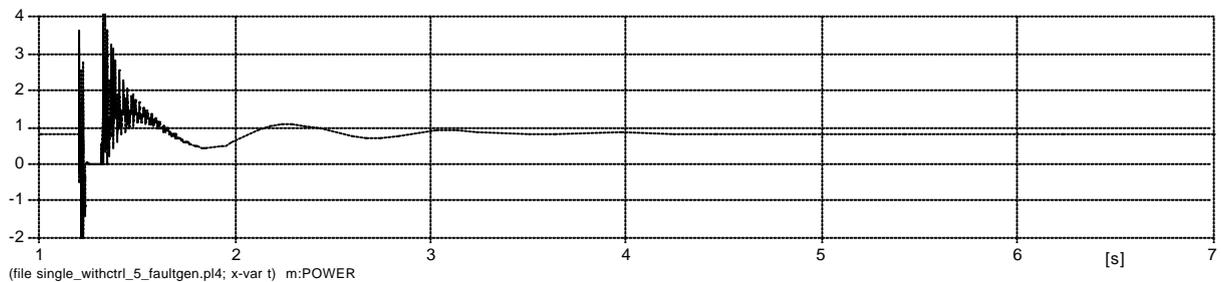


Bild 3: Wirkleistung des Generators mit AVR und PSS Regelung

Basierend auf den durchgeführten Vergleichen soll das für die weiteren Untersuchungen anzuwendende Simulationswerkzeug festgelegt werden.

Piergiorgio La Seta

Neues Verfahren zur Automatischen Wiedereinschaltung reduziert die Anforderungen an die Stromwandler

Bei Freileitungen besteht der größte Teil der Kurzschlüsse aus Lichtbogenfehlern, die nach der Entionisierung der Lichtbogenstrecke sofort wieder eingeschaltet werden können. Die Automatische Wiedereinschaltung (AWE) verhindert bei diesen Fehlern eine ansonsten unvermeidliche, länger dauernde Unterbrechung der Stromversorgung. Die AWE erhöht also die Versorgungszuverlässigkeit des Netzes.

Die bei einer erfolglosen AWE auftretende Kurzschlussfolge (zweifacher Stromfluss) stellt besondere Anforderungen an die Stromwandler. Die Beurteilung der AWE-Fähigkeit der Stromwandler erfolgt bei Worst-Case-Bedingungen. Deshalb kann in vielen Netzen keine AWE durchgeführt werden, da die Stromwandler die Anforderungen nicht erfüllen.

Die höheren Anforderungen an den Stromwandler resultieren aus der Tatsache, dass im Falle einer erfolglosen AWE der Kurzschlussstrom zweimal kurz hintereinander übertragen werden muss. Dadurch wird möglicherweise die Sättigung des Stromwandlers bei dem zweiten Stromfluss erreicht. Hierdurch könnte eine Fehlfunktion des Schutzgerätes auftreten, die dazu führt, dass der Kurzschluss nicht oder zu spät abgeschaltet wird.

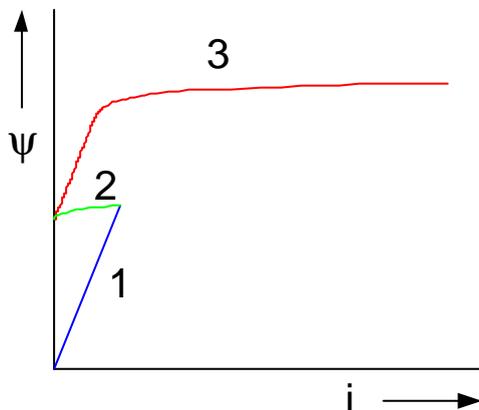


Bild 1: Verlauf des Flusses bei einer erfolglosen AWE
1 erster Stromfluss
2 stromlose Pause
3 zweiter Stromfluss

Der Stromwandler muss deshalb so dimensioniert werden, dass der Sättigungsfluss ψ_{sat} des Stromwandlers nicht erreicht wird. Für den Fluss kann im Fehlerfall die sehr genaue Näherung

$$\psi(t) = R_{\text{Bg}} \int_0^t i_s(\tau) d\tau \quad (1.1)$$

hergeleitet werden. Hierbei ist R_{Bg} die gesamte Wirkbürde und i_s der sekundärseitige Strom.

Durch die Integration wird der vom Gleichstromanteil verursachte Fluss deutlich größer als der Wechselstromanteil. Die höchsten Anforderungen an den Stromwandler ergeben sich deshalb bei einem vollverlagerten Kurzschlussstrom.

Das hier vorgestellte, neu entwickelte Verfahren berechnet den Fluss aus dem Strom des ersten Stromflusses. Es müssen deshalb nicht die möglichen, aber sehr unwahrscheinlichen Worst-Case-Bedingungen berücksichtigt werden.

Das Schutzgerät entscheidet erst zum Zeitpunkt des Wiedereinschaltkommandos, ob eine AWE durchgeführt wird oder nicht. Zu diesem Zeitpunkt ist der erste Kurzschluss und ein Teil der stromlosen Pause bereits abgelaufen. Der Fluss des Stromwandlers zu diesem Zeitpunkt kann mit Gleichung (1.1) berechnet werden.

Damit ist der Fluss bekannt, der durch den ersten Kurzschlussstrom verursacht wurde. Das neue Verfahren zur Freigabe der AWE

- berechnet den Fluss des ersten Stromflusses aus den Messwerten,
- addiert den möglichen Wert des Flusses beim zweiten Stromfluss einer erfolglosen AWE,
- vergleicht diesen Flusswert mit dem zulässigen Wert und
- entscheidet, basierend auf diesem Vergleich, ob die AWE durchgeführt wird.

Bild 2 zeigt das Ablaufdiagramm des Verfahrens für den Fall, dass der Fluss der zweiten Stromfolge berechnet wird.

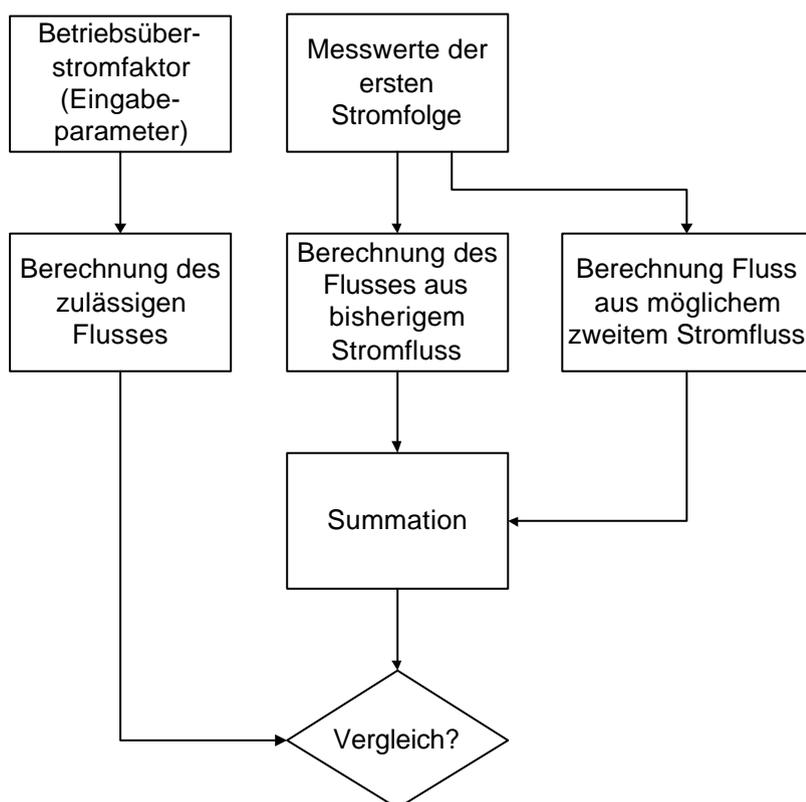


Bild 2: Ablaufdiagramm des Verfahrens

Rainer Luxenburger

Überprüfung der Echtzeitfähigkeit eines Algorithmus zum Gesteuerten Schalten von kompensierten Freileitungen

Am Institut wurde ein Algorithmus zur Gesteuerten Einschaltung bei Kurzunterbrechungen auf parallelkompensierten Leitungen entwickelt. Dabei werden die Parameter Amplitude, Frequenz, Dämpfung und Phasenverschiebung auf der Netzseite und auf der Leitungsseite während der Kurzunterbrechung bestimmt. Mit Hilfe dieser Parameter ist eine Vorhersage des zukünftigen Spannungsverlaufes über dem Leistungsschalter und so die Auswahl eines optimalen Einschaltzeitpunktes möglich.

Die Spannung auf der Netzseite besitzt im Normalfall die Nennfrequenz und -amplitude. Auf der Leitungsseite bildet sich ein Schwingkreis aus, dessen Resonanzfrequenz durch den Kompensationsgrad bestimmt wird. Die sich einstellenden Schwingungen besitzen Frequenzen zwischen 32 Hz (30 % Kompensation) und 45 Hz (80 % Kompensation). Auf Grund der ohmschen Widerstände der Freileitung und der Kompensationsspulen ist diese Schwingung gedämpft. Des Weiteren werden Spannungen aus den benachbarten Leitern über die Leiter-Leiter-Kapazitäten eingekoppelt. Deren Frequenzen können sich von der Eigenfrequenz des Leiters unterscheiden, so dass sich eine mehrfrequente Schwingung auf der Leitungsseite ausbildet. In Bild 1 ist der Spannungsverlauf über dem Leistungsschalter für eine Kompensation mit 30 % (a) und einer mit 80 % (b) dargestellt.

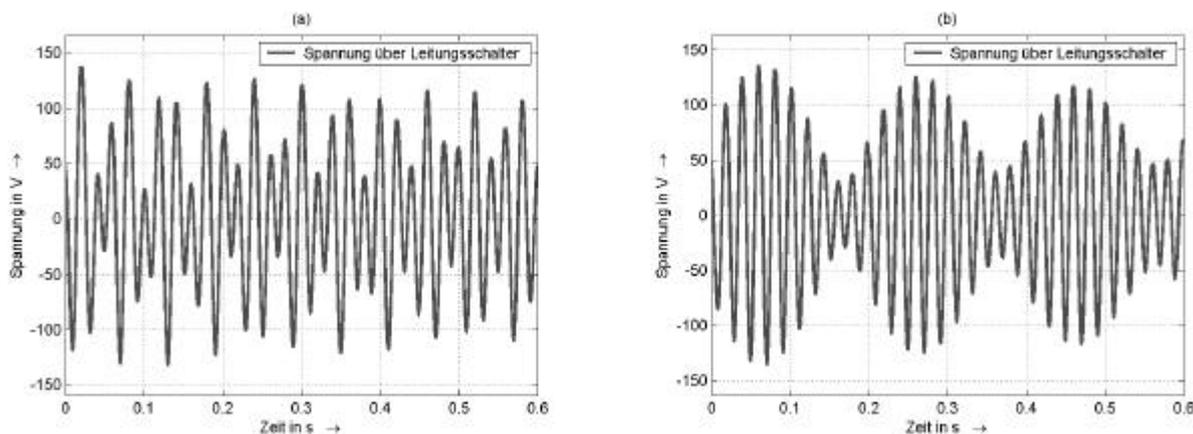


Bild 1: Spannung über dem offenen Schalterpol nach einer Kurzunterbrechung auf einer parallelkompensierten Freileitung; (a) Kompensationsgrad 30 %, (b) Kompensationsgrad 80 %

Zur Verifizierung der entwickelten Algorithmen ist es notwendig, deren Echtzeitfähigkeit zu überprüfen. Die maximale verfügbare Berechnungszeit wird durch die kleinste Pausenzeit der Kurzunterbrechung vorgegeben. In der zu betrachtenden Spannungsebene = 380 kV kann von einer minimalen Pausenzeit von 300 ms ausgegangen werden.

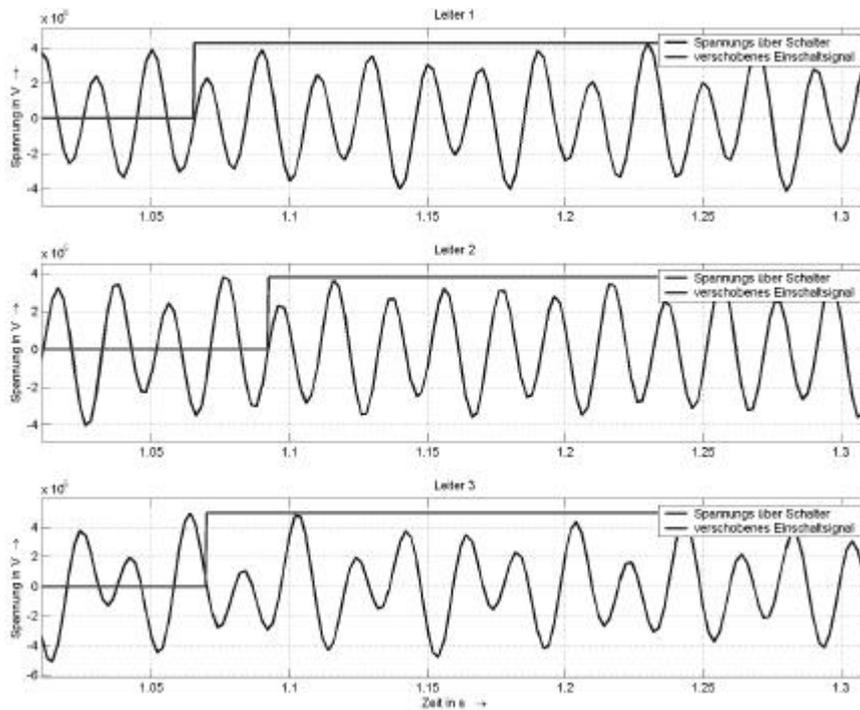


Bild 2: Spannung über den Schalterpolen und berechnetes Einschaltsignal für eine dreipolige Kurzunterbrechung

Als Umgebung für die Überprüfung der Algorithmen wird das Programm MATLAB mit dem Tool xPC-Target verwendet. Als Zielgerät wurde ein PC mit einer CPU Pentium II 350 MHz verwendet. Auf diesem Rechner ist ein Echtzeitbetriebssystem installiert, das eine Untersuchung der Vorgänge in Echtzeit erlaubt. Der Ziel-PC wird über ein Netzwerk mit dem Entwicklungs-PC verbunden. Auf diesem werden die entwickelten Algorithmen und die zu untersuchenden Schaltfälle zusammengestellt. Danach erfolgt die Kompilierung der Schaltaufgabe und die Übertragung auf den Ziel-PC. Auf diesem wird die Kurzunterbrechung simuliert und die Ergebnisse anschließend an den Entwicklungs-PC zwecks Analyse zurück übertragen.

In Bild 2 ist das Ergebnis einer dreipoligen Kurzunterbrechung dargestellt. Neben dem Spannungsverlauf über dem Schalter ist auch das verschobene gesteuerte Einschaltsignal dargestellt. Auf Grund der Verschiebung um die Eigenzeit des Schalters ist die Güte des berechneten Einschaltzeitpunktes leicht erkennbar. Während der Simulation erfolgt die Ausgabe des Einschaltsignals unter Berücksichtigung der Eigenzeit.

Die Untersuchungen ergaben, dass die entwickelten Algorithmen die zeitlichen Anforderungen einer Kurzunterbrechung erfüllen. In einem letzten Schritt wird ein Prototyp des Synchronsteuergerätes getestet werden. Mit Hilfe einer Prüfeinrichtung, welche Spannungswandlersignale in Echtzeit ausgeben kann, soll die Überprüfung der Echtzeitfähigkeit abgeschlossen werden.

Georg Pilz

Besondere Anforderungen an Selektivschutzsysteme in MS-Netzen mit dezentraler Einspeisung

Durch den Einsatz von dezentralen Energiequellen verändert sich die Situation im Netz und damit auch die Anforderungen an den Netzschutz. Die bisherigen Schutzsysteme sind weiterhin nur bedingt einsetzbar. Die Möglichkeiten für den Einsatz neuer, unkonventioneller Schutzsysteme sollen auch im Rahmen des Graduiertenkollegs LIES untersucht werden.

Bei der elektrischen Energieübertragung in Mittelspannungsnetzen werden in ländlichen Gebieten üblicherweise Strahlennetze eingesetzt. Bei dieser Netzform ist für den Netzschutz in der Regel Überstromzeitschutz ausreichend.

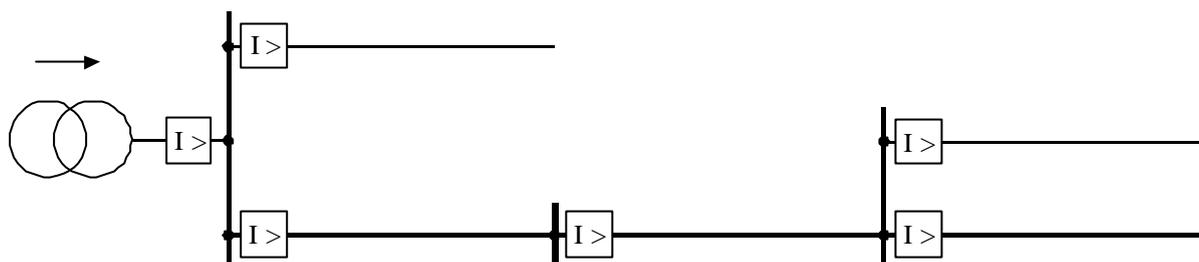


Bild 1: Überstromzeitschutzsystem für ein Mittelspannungs-Strahlennetz

Das Bild 1 zeigt ein Beispiel für ein Strahlennetz mit einem Überstromzeitschutzsystem. Ein solches Schutzsystem ist bei einem einseitig gespeisten Strahlennetz völlig ausreichend. Aus Kostengründen wird aber oft auf den Schutz jedes einzelnen Leitungsabschnitts verzichtet. Ein Schutzrelais wird nur an der Einspeisestelle eingesetzt. An den übrigen Leitungsabschnitten werden nur preiswerte Kurzschlussanzeiger für die bessere Kurzschlussortung angewendet.

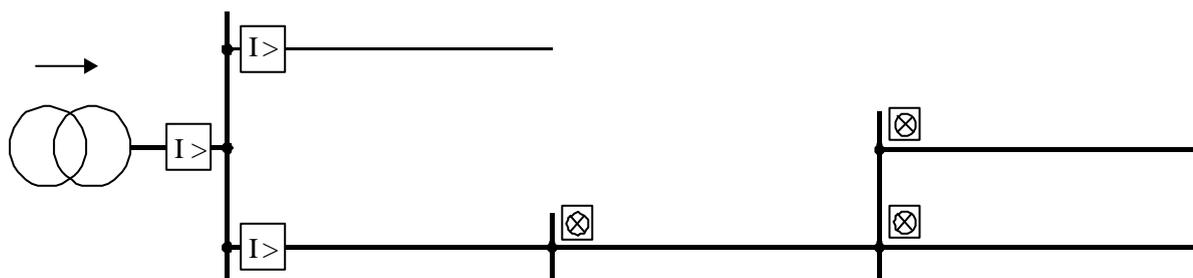


Bild 2: Vereinfachtes Überstromschutzsystem mit Kurzschlussanzeigern

Diese Schutzkonzepte erweisen sich aber als wenig geeignet, wenn man im Mittelspannungsnetz dezentrale Energieerzeugungsanlagen einsetzen möchte. Ein Überstromschutzrelais ohne Richtungsbestimmung ist für diese Aufgabe prinzipiell nicht geeignet. Man kann auch in diesem Fall die Selektivität des Schutzsystems durch eine geeignete Einstellung aller Komponenten erreichen. Die Bedingung ist, dass die dezentralen Einspeisungen in einem Fehlerfall durch ihre eigenen Schutzeinrichtungen (Spannungsrückgangsschutz, Überstromschutz, Frequenzschutz, Vektorsprungrelais) rechtzeitig vom Netz getrennt werden, und

das auch, wenn sich der Fehler nicht im Leitungsabgang der dezentralen Einspeisung befindet. Das verringert die Verfügbarkeit dieser Anlagen und außerdem erreicht die Selektivität und Schnelligkeit des Schutzsystems nicht den Stand ohne dezentrale Energieerzeuger im Netz.

Eine gezielte Verbesserung oder Neuentwicklung der Schutzsysteme mit Berücksichtigung von dezentralen Energieerzeugungsanlagen ist erforderlich und kann die Energiequalität verbessern.

Ein möglicher Lösungsansatz für die Entwicklung unkonventioneller Schutzsysteme ist die Anwendung von Software-Agenten. Der Begriff wird für Programme angewendet, die sich von klassischen Programmen durch zwei Eigenschaften unterscheiden, zum einen durch eine höhere Autonomie, zum anderen durch die Fähigkeit, mit anderen Agenten mit Hilfe von Kommunikationsnetzwerken zusammenzuarbeiten.

Diese Eigenschaften können auch im Schutzsystem Vorteile bringen. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Agenten erlaubt eine bessere Anpassung an Strukturänderungen im Netz. Die Autonomie der Agenten ermöglicht auf der anderen Seite die Beherrschung von Störungen der Kommunikationsverbindungen.

Die Anwendung von Kommunikationsverbindungen zwischen den Schutzgeräten gehört zu den Möglichkeiten, die heute noch nicht vollständig ausgenutzt werden. Für einen sinnvollen Einsatz der dezentralen Erzeuger im Netz sind Kommunikationsnetze ohnehin notwendig, deshalb wäre es vorteilhaft, sie auch für den Netzschutz zu nutzen.

Mit Hilfe des Netzberechnungsprogramms NETOMAC wird eine Umgebung zur Untersuchung geeigneter Software-Agenten erstellt. Innerhalb dieses Systems sollen Vergleiche unterschiedlicher Schutzsystemlösungen durchgeführt werden.

Peter Vlcek

Beschreibung von Netzdaten und Reglerdaten im XML-Format als Basis für Stabilitätsuntersuchungen

Das XML-Datenformat zur Beschreibung elektrischer Energieversorgungsnetze beinhaltet alle für die Netzberechnung relevanten Daten. Dabei werden die netzbeschreibenden Topologiedaten in der XML-Struktur getrennt von den elektrischen Daten der einzelnen Betriebsmittel gespeichert. Durch die Objekte Knoten, Verbindungen und Untergruppen wird ein Topologiemodell beschrieben. Die Betriebsmittel werden durch Verbindungen dargestellt, wobei jeder Verbindung konkrete Daten aus dem Abschnitt der Netzelemente zugewiesen werden. Zusätzlich zu den Betriebsmitteldaten kann jeder Verbindung eine Reglerstruktur zugordnet werden (Bild 1). Damit wird dem stärkeren Einsatz steuerbarer leistungselektronischer Betriebsmittel Rechnung getragen.

```
<Connection ID="C10">
  <Element>Gen01</Element>
  <Node1 Flag="1">A06</Node1>
  <Control Flag="1" Name="ST1A">
    <Control_In Nr="1" Typ="U_G">Gen01</Control_In>
    <Control_In Nr="2" Typ="Q_G">Gen01</Control_In>
    <Control_Out Nr="1" Typ="U_FD">Gen01</Control_Out>
  </Control>
</Connection>
```

←..... Referenz auf die Elementdefinition

←..... Referenz auf die Reglerdefinition

Bild 1: XML-Umsetzung einer Verbindung Referenzen auf Element- und Reglerdaten

Das XML-Datenformat wurde erweitert und angepasst, so dass auch die zu den Betriebsmitteln gehörenden Regler erfasst und verarbeitet werden können. Basierend auf dem XML-Standard wurde ein weiteres Schema für Reglerdaten definiert. Unter Verwendung dieser Schemadefinition lassen sich gültige XML-Dateien für die Regler aufbauen (Bild 2).

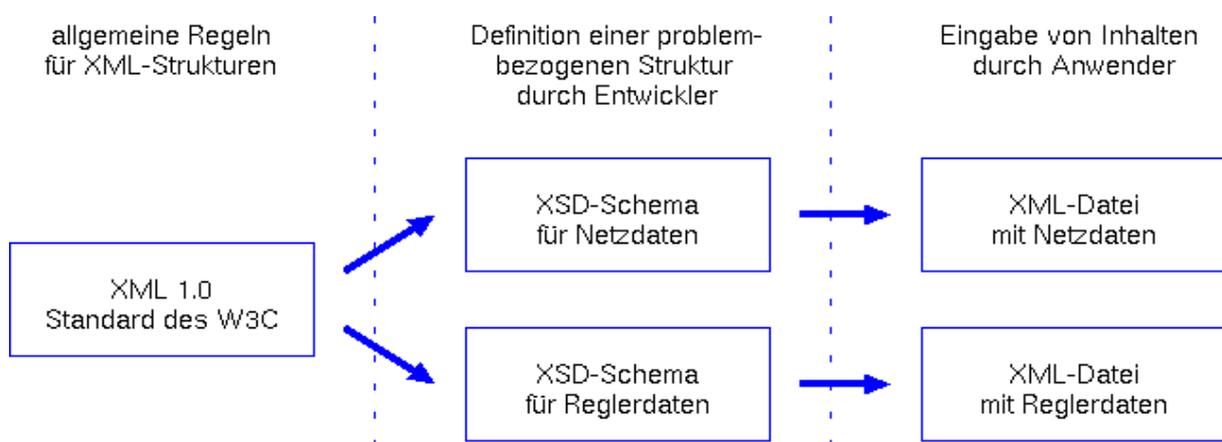


Bild 2: Erweiterung der XSD-Schemadefinition für Reglerdaten

Die Regler bestehen aus Funktionsblöcken, ihre Struktur wird durch die Verschaltung der Blöcke beschrieben. Für die Umsetzung in XML wurden die benötigten Blöcke und deren Parameter jeweils als XML-Elemente definiert.

Die Beschreibung der Reglerstruktur erfolgt mittels Connectoren, die die Verbindungen der Blockein- und Ausgänge repräsentieren.

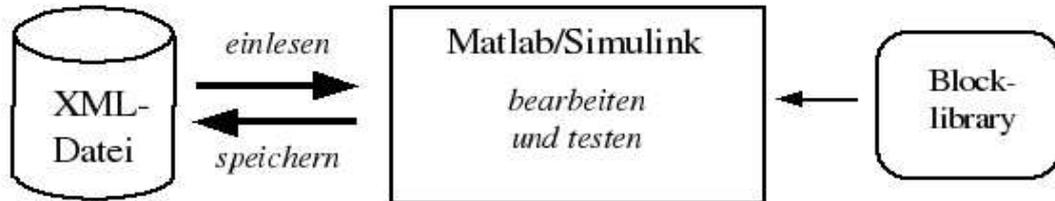


Bild 3: Simulink als Testumgebung für XML-basierte Reglerdateien

Der Entwurf und die Simulation von Reglern erfolgt heute mit ausgereiften Simulationstools (z.B. Matlab/Simulink). Um die Vorteile dieser Systeme auch für die Bearbeitung der mit XML. beschriebenen Regler nutzen zu können, wurde ein objektorientiertes Programm erstellt. Dieses Programm liest die Reglerdatei mit Matlab ein und erzeugt ein Simulink-Modell. Dieses wird als Blockschaltbild dargestellt, das in gewohnter Weise editiert und getestet werden kann. Dazu wurde eine Blockbibliothek für Simulink erstellt, die die in den Reglern üblichen Übertragungsglieder enthält.

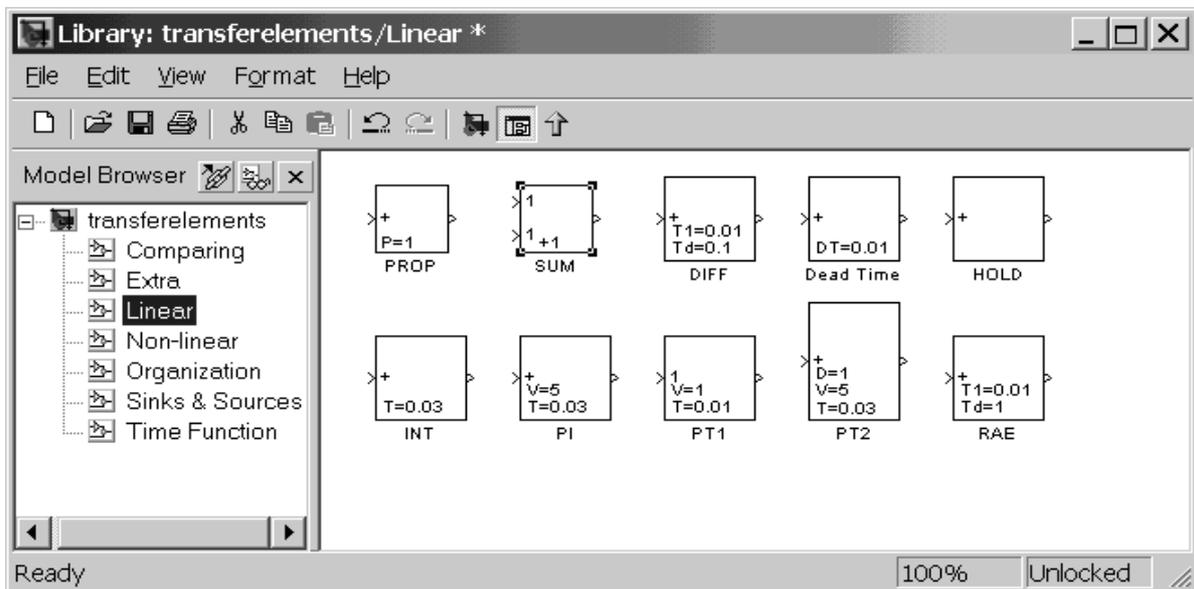


Bild 4: Blockbibliothek in Simulink für die Simulation von Reglern

Die Bibliothek ist in Gruppen unterteilt, um einen einfachen Zugriff auf die einzelnen Blöcke zu ermöglichen. Außerdem lassen sich Subsysteme erzeugen, die übersichtliche Strukturierung erlauben.

Parallele Lichtbögen zwischen Düse und Werkstück in Plasmaschneidbrennern

Beim Anschneiden und Schneiden von Metallen sowie während des Einstechens des Lichtbogens können sich Doppellichtbögen zwischen Düse und Werkstück ausbilden (Bild 1). Doppellichtbögen entstehen bei unzureichender Kühlung des Bogens oder zu hohen Arbeitsströmen und damit zu hohen Stromdichten im Bogen. In beiden Fällen wird der Durchmesser des Bogens größer. Es entsteht ein Teil-/Parallelbogen, der von der Düse auf das Werkstück überspringen kann und die Düse zerstört.

Eine Möglichkeit, Parallelbögen zu verhindern, besteht darin, die Düse auf ein solches Potenzial anzuheben, dass weder der Spannungsfall zwischen Kathode und Düse noch der Spannungsfall zwischen Düse und Werkstück zum Zünden von Parallelbögen ausreicht. Dazu wurde die Spannung zwischen Düse und Werkstück U_{D-W} abhängig vom Strom I gemessen (Bild 1), (Tabelle 1). Diese Messung ergab, dass Parallellichtbögen ab einem Arbeitsstrom von 100 A und einem Spannungsfall zwischen Düse und Werkstück von 90 V auftreten. Mit Hilfe eines ohmschen Spannungsteilers R_1 ; R_2 (100 Ω /50 Ω ; 50 Ω /25 Ω ; 12,4 Ω /6,3 Ω ; 8 Ω /4,2 Ω) wurde versucht, das Potenzial der Düse gegenüber dem Werkstück auf ca. 60 V zu begrenzen. Dabei zeigte sich, dass mit diesen ohmschen Teilern die Spannung U_{D-W} zwischen Düse und Werkstück deutlich verringert werden konnte. Mit den niederohmigeren Teilern betrug $U_{D-W} < 60$ V bis $I = 110$ A und mit den hochohmigeren Teilern bis $I = (70 \dots 80)$ A (Tabelle 1). Bei niederohmigen Teilern treten bis zum höchsten untersuchten Strom $I = 130$ A keine Teillichtbögen auf. Werden niederohmige Teiler bei hohen Strömen und hohen Spannungen U_{K-W} eingesetzt, kommt es jedoch im Bereich der Düsenbohrung auch ohne Parallelbögen zu einem erhöhten Materialverschleiß. Die Ursache dafür wird darin gesehen, dass der Strom, der über den Teilerwiderstand R_1 fließt, nicht über den Widerstand R_2 , sondern über die Düse und den Plasmastrahl zum Werkstück übertragen wird.

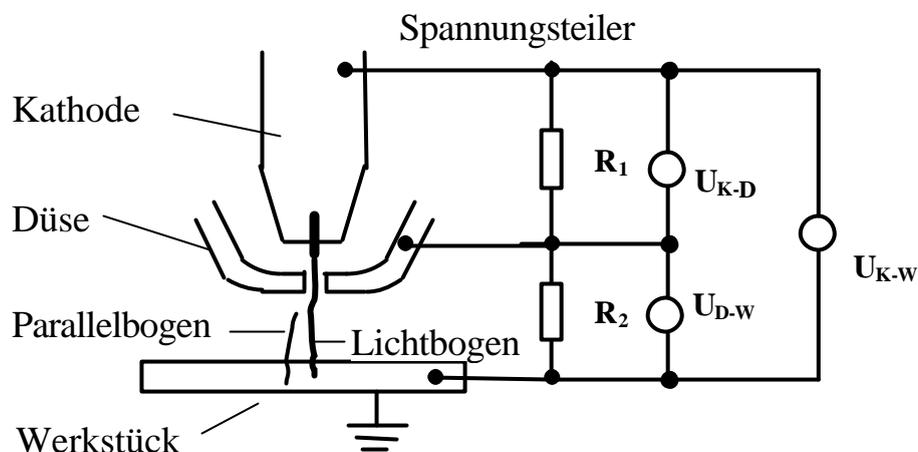


Bild 1: Schaltbild zur Messung der Spannung zwischen Düse und Werkstück U_{D-W} bei unterschiedlichen treibenden Spannungen U_{K-W}

■ Parallelbögen		Spannungsteiler U_{D-w} [V]				
I [A]	U_{K-w} [V]	ohne	100/50 Ω	50/25 Ω	12,4/6,3 Ω	8/4,2 Ω
48	145	65	51	51	49	51
60	145	72	54	53	49	51
70	145	75	58	53	49	51
80	145	80	64	54	51	51
90	145	84	73	60	52	51
100	145	91 ■	78	68	53	53
110	145	105	85	82	55	57
120	145	107	93	98	65	67
130	145	104	95 ■	107 ■	75	75

Tabelle 1: Spannung zwischen Düse und Werkstück bei unterschiedlichen Strömen ohne und mit ohmschen Spannungsteilern

Eine weitere Möglichkeit, Parallelbögen zu verhindern und damit die Lebensdauer der Düse zu erhöhen, besteht darin, auf die Düse eine elektrisch isolierende Schicht aus z. B. Metalloxid (MO_x) aufzubringen. Die Schichten können mittels Plasmaspritzen, anodischer Oxidation (ANOF) oder Sputtern (PVD) aufgebracht werden. Durch die Beschichtung werden die Fußpunktspannungen für den Parallelbogen deutlich größer als bei der unbeschichteten Düse aus Kupfer. Bei treibenden Spannungen von $U_T = 50, 120$ und 240 V wurde mittels Abreißzündung versucht, an beschichteten Metallen einen Lichtbogen zu zünden. Dabei zeigte sich, dass abhängig von der Dicke der Beschichtung, teilweise bis zu einer treibenden Spannung von $U_T = 240$ V, kein Lichtbogen gezündet werden konnte (Tabelle 2).

Schicht	Abscheidung	$U_T = 50$ V	$U_T = 120$ V	$U_T = 240$ V
0,6 μm MO_x	PVD ohne Zwischenschicht	LB gezündet	LB gezündet	LB gezündet
0,8 μm MO_x	PVD mit Zwischenschicht	LB gezündet	LB gezündet	LB gezündet
3,6 μm MO_x	PVD mit Zwischenschicht	kein LB	kein LB	kein LB

Tabelle 2: Ausbildung eines Lichtbogens abhängig von der treibenden Spannung, der Schichtdicke des Metalloxids bei einer PVD-Beschichtung

Mario Jochim

Experimentelle Bestimmung der Ähnlichkeitsfunktionen für den konvektiven Wärmeübergang an innen durchströmten Rohren

In der Mittelspannungstechnik werden weltweit fabrikgefertigte, metallgekapselte und typgeprüfte Schaltanlagen eingesetzt. Durch die geschotteten Funktionsräume, die Isolierung mit den Isoliergasen Luft und SF₆-N₂ und die komplett berührungssichere Kapselung wird höchste Sicherheit bei minimalem Platzbedarf gewährleistet. Diese kompakte Bauweise erfordert eine optimale thermische Dimensionierung der Schaltanlage, um über Jahrzehnte einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

Um die thermischen und strömungstechnischen Vorgänge der Wärmeübertragung in einer Mittelspannungsschaltanlage mit einem Wärmenetz berechnen und damit die Anlage optimieren zu können, muss der konvektive Wärmeübergang unter anderem von der Innenseite einer Rohr- bzw. einer D-Sammelschiene (Bild 1) mit Ähnlichkeitsfunktionen beschreibbar sein.

Wesentliche Einflussgrößen dabei sind:

- Innendurchmesser bzw. äquivalenter Innendurchmesser des Rohres d_i
- Neigungswinkel α_N und
- Länge des Rohres l_R



Bild 1: D-Sammelschienen

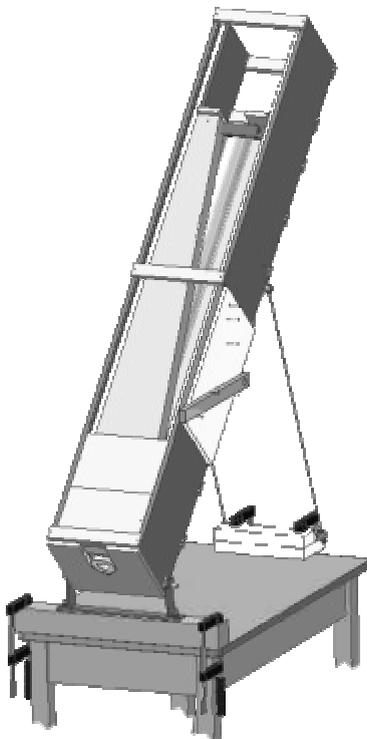


Bild 2: Versuchsanordnung

Zur experimentellen Bestimmung der Ähnlichkeitsfunktionen wurde ein Versuchstand aufgebaut (Bild 2), in dem die drei genannten Parameter variiert werden konnten. Gemessen wurden neben der Wärmeleistung die mittlere Rohrtemperatur $\bar{\vartheta}_R$, die mittlere Lufttemperatur am Rohraustritt $\bar{\vartheta}_a$ und die Umgebungstemperatur ϑ_0 .

Die Erwärmung des Rohres erfolgte über eine Widerstandsfolie, die elektrisch isoliert auf die Außenseite des Rohres aufgebracht war. Über eine variable Leistungsquelle konnten die Rohre auf Temperaturen bis 100°C erwärmt werden. Im Versuchstand waren die Rohre auf der Außenseite thermisch mit Steinwolle isoliert, so dass der größte Teil der den Rohren zugeführten Leistung über Konvektion von den Innenseiten der Rohre an die Umgebung übertragen wurde.

Die Ähnlichkeitskriterien Nu, Gr, und Pr entsprechend

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

wurden aus

$$Nu = \frac{P_{Ko} \cdot l_w}{O_{Ko} \cdot \lambda_{Lu} \cdot \Delta\vartheta} \quad (2)$$

und $GrPr = k_s l_w^3 \cdot \vartheta$ (3)

ermittelt.

Nu - Nusselt - Zahl

GrPr - Grasshof - und Prandtl - Zahl

λ_{Lu} - Wärmeleitfähigkeit der Luft

k_s - Stoffwertkoeffizient der Luft

l_w - charakteristische Länge (d_i)

O_{Ko} - Oberfläche der Rohrinne

P_{Ko} - die über die Innenseite abgegebene konvektive Wärmeleistung

$\Delta\vartheta$ - Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Rohr- und Umgebungstemperatur

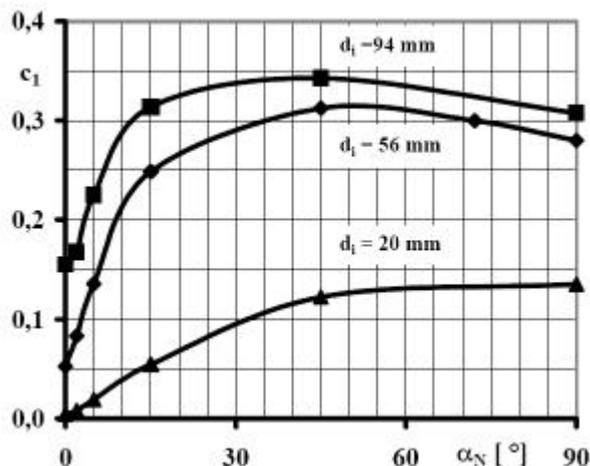


Bild 3: Versuchsergebnisse c_1 -Werte abhängig von α_N bei $l_R = 1$ m; Parameter d_i

Die ermittelten c_1 -Werte in Gl. (1) ergeben sich abhängig vom Neigungswinkel des Rohres α_N zu $c_1 = 0,004 \dots 0,34$ (Bild 3). In allen untersuchten Rohren war die Strömung laminar, d. h. der Exponent in Gl. (1) beträgt $n_1 = 0,25$. Vergleicht man die ermittelten c_1 -Werte mit den Werten aus der Literatur zum außen umströmten Rohr bei freier Konvektion, so ist erkennbar, dass mit $c_1 = 0,34$ zu $c_1 = 0,54$ etwa 63 % mehr Leistung vom beidseitig offenen, 45° geneigten Rohr konvektiv an die Luft übertragen werden kann, als bei einem geschlossenen Rohr.

Den größten Einfluss auf den konvektiven Wärmeübergang innen durchströmter Rohre hat der Neigungswinkel α_N . Mit größer werdendem Neigungswinkel $0^\circ \dots 45^\circ$ wird der konvektive Wärmeübergang bei größeren Rohrdurchmessern ($d_i = (56 \dots 94)$ mm) größer. Beträgt der Winkel $\alpha_N = 45^\circ \dots 90^\circ$, so wird der konvektive Wärmeübergang wieder etwas kleiner. Bei kleinen Innenrohrdurchmessern ($d_i = 20$ mm) wird c_1 bis zu einem Neigungswinkel von ca. 45° größer und bleibt dann quasi konstant.

Christoph Gramsch

Einfluss von Kühlelementen auf den Stromverdrängungs-Faktor

Die Strombelastbarkeit eines Leiters ist durch die in Normen vorgegebene Grenztemperatur festgelegt. Um diese auch bei einer höheren Strombelastung nicht zu überschreiten, muss die erzeugte Wärmeleistung optimal abgeführt werden. Das kann u. a. durch zusätzliche passive Kühlelemente am Leiter erreicht werden. Je größer die zusätzliche konvektive Oberfläche der Kühlelemente ist, desto mehr Strom kann übertragen werden. Da durch die Kühlelemente das magnetische Feld im Leiter und in dessen Nähe verändert wird, verändert sich auch die Verteilung der Stromdichte im Leiter und in den Kühlelementen und damit der Stromverdrängungsfaktor der gesamten Anordnung. Dieser Faktor kann für beliebige Leiteranordnungen mit Kühlelementen mit dem FE-Programm ANSYS berechnet werden.

Kühlelemente können direkt mit dem Leiter vergossen (galvanische Verbindung mit dem Leiter) oder auf dem Leiter aufgeschraubt (galvanisch verbunden oder elektrisch isoliert) sein. Im *1. Beispiel* waren sechs Kühlrippen an einen rohrförmigen Leiter angegossen (Bild 1). Die Parameter des Leiters und der Kühlrippen wurden in folgenden Bereichen variiert:

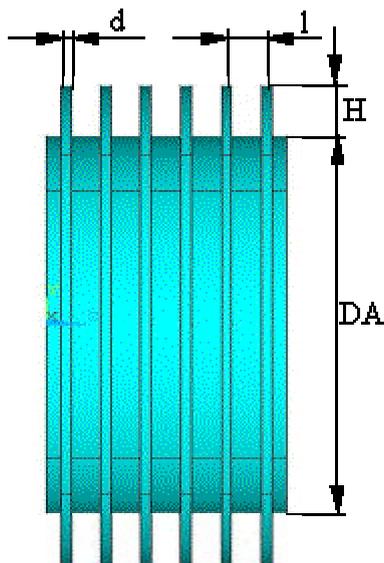


Bild 1: Rippen direkt am Leiter

- Rippenhöhe $H = 15 \text{ mm} - 95 \text{ mm}$,
- Rippendicke $d = 3,5 \text{ mm} - 11,5 \text{ mm}$,
- Rippenmittelpunktabstand $l = 13 \text{ mm} - 45 \text{ mm}$,
- Außendurchmesser $DA = 80 \text{ mm} - 720 \text{ mm}$,
- Dicke des Leiters $b = 7 \text{ mm} - 23 \text{ mm}$ (b - im Bild 1 nicht angegeben).

Um den Einfluss der fünf Parameter auf den Stromverdrängungsfaktor k bewerten zu können, wurde mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung eine Approximationsfunktion bestimmt. Bei der grafischen Darstellung dieser Funktion (Bild 2), bei der jeweils ein Parameter verändert und die restlichen vier im Zentralpunkt festgelegt wurden, wird deutlich, dass der Stromverdrängungsfaktor des Leiters mit Rippen hauptsächlich durch die Dicke der Strombahn b und die Dicke der Rippen d bestimmt wird.

Deshalb sollten diese beiden Parameter so klein wie möglich (begrenzt durch mechanische Festigkeit, Herstellungsprozess) gewählt werden, um den Stromverdrängungsfaktor dieser Anordnung und damit auch die Stromwärmeverluste in diesem Leiterabschnitt möglichst klein zu halten.

Im *2. Beispiel* waren die Kühlelemente elektrisch isoliert am Leiter angeschraubt (6 Kühlelemente mit je 3 Rippen – Bild 3). Bei dieser Anordnung der Kühlelemente am Leiter kann der Strom nicht in die Rippen gedrängt werden. In den Rippen fließen nur die Wirbelströme. Der Stromverdrängungsfaktor k beträgt bei dieser

Anordnung nur 90 % gegenüber der gleichen Anordnung, bei der die Kühlelemente galvanisch mit dem Leiter verbunden sind (Bild 4).

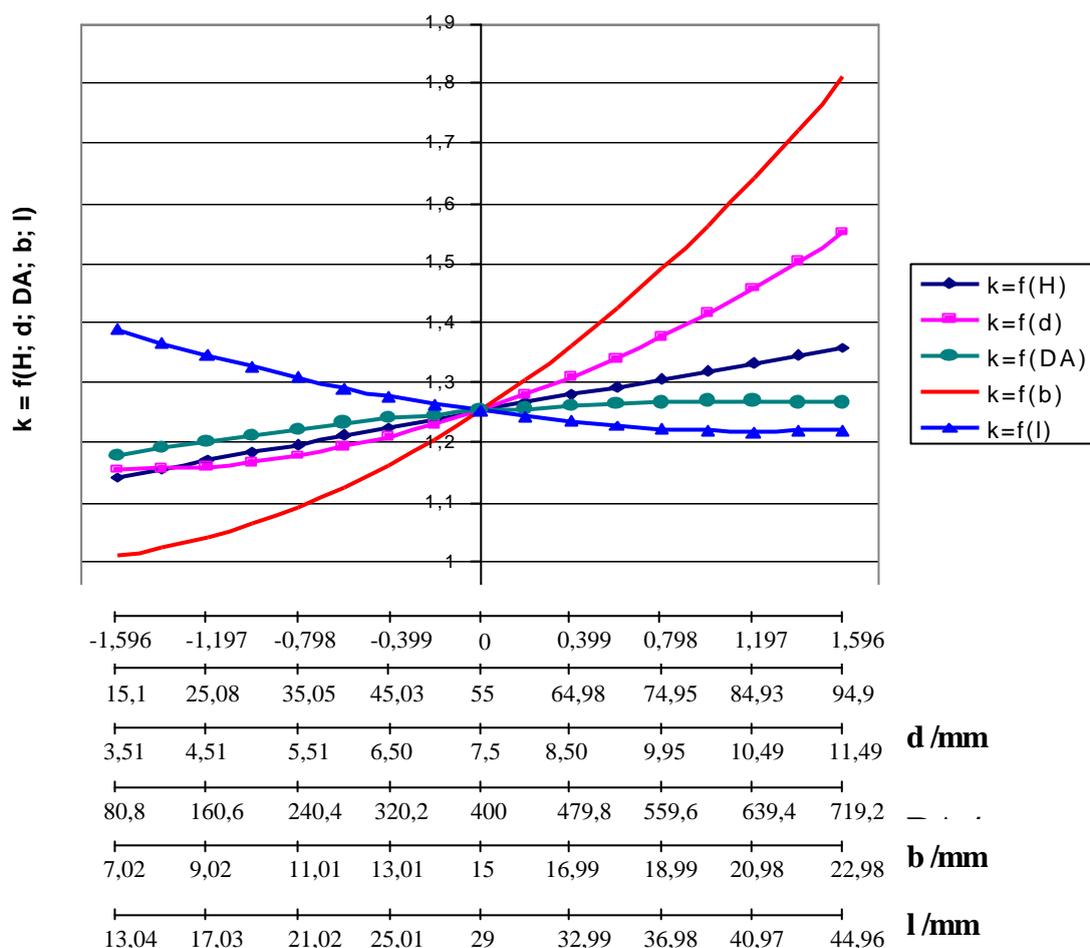


Bild 2: Stromverdrängungsfaktor der Strombahn mit Rippen abhängig von verschiedenen Parametern: H, d, DA, b, l.
(im Zentralpunkt: $H_0 = 55$ mm, $d_0 = 7,5$ mm, $DA_0 = 400$ mm, $b_0 = 15$ mm, $l_0 = 29$ mm)

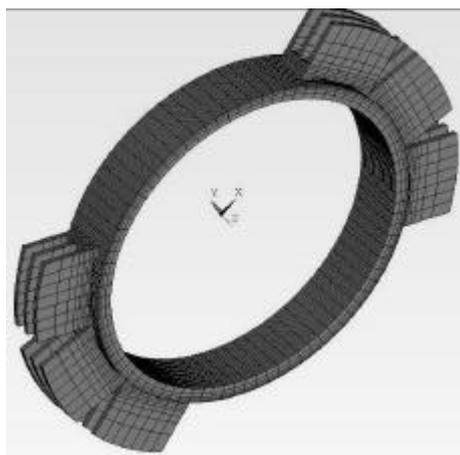


Bild 3: Leiter mit angeschraubten Kühlelementen

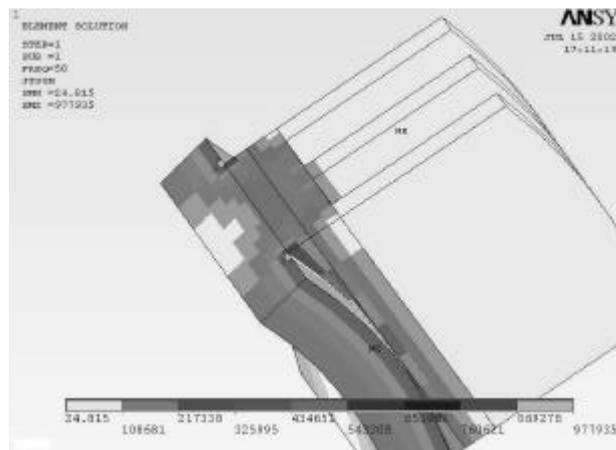


Bild 4: Stromdichteverteilung im Leiter und im Kühlelement bei galvanischer Verbindung

Tomasz Magier

3.2. Dissertationen

Protze, Carsten: Untersuchungen zum Verhalten von Oberflächenladungen in gasisolierten Hochspannungsgeräten und -anlagen

Gutachter: Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. G. Winkler TU Dresden
 Prof. Dr.-Ing. J. Kindersberger TU München
 Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. H.-H. Schramm Siemens AG Berlin

Mit der zunehmenden Verkleinerung der Baugröße von gasisolierten Hochspannungsgeräten und -anlagen ist die elektrische Beanspruchung der eingesetzten Isolierstoffe gestiegen. Dadurch kann bereits eine geringe Beeinflussung des elektrischen Feldes zu einem Durch- oder Überschlag führen und damit den Ausfall des Betriebsmittels zur Folge haben. Eine mögliche Ursache dafür sind Ansammlungen von elektrischen Ladungen auf Isolierkörperoberflächen, sogenannte Oberflächenladungen.

Die Entstehung von Oberflächenladungen kann verschiedene Ursachen haben. Es wird zwischen einer Ladungsakkumulation infolge einer Isolierstoffleitung, einer Kontakttrennung sowie einer Lichtbogeneinwirkung unterschieden. Während die Isolierstoffleitung bei Existenz eines elektrischen Feldes in allen gasisolierten Hochspannungskomponenten bei Normalbetrieb zur Entstehung von Oberflächenladungen führt, kommt eine Ladungsakkumulation infolge einer Kontakttrennung bzw. einer Lichtbogeneinwirkung nur in Schaltgeräten vor, da hier während Schaltvorgängen innerhalb des Gerätes Elektroden und/oder Isolierkörper relativ zueinander bewegt werden.

Abgesehen von Mikroentladungen ist die Geschwindigkeit des Akkumulationsprozesses infolge von Isolierstoffleitung sehr gering, so dass es nur unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes mit einem Gleichanteil über einen großen Zeitraum zu einer relevanten Ladungsakkumulation kommen kann. Bei der Existenz von Mikroentladungen genügen dagegen wenige Millisekunden für die Entstehung von Oberflächenladungen.

Eine Ladungsakkumulation infolge einer Kontakttrennung ist an die Bewegung eines Isolierkörpers relativ zu einem anderen Feststoff gebunden, mit welchem der Isolierkörper vorher in Kontakt stand. Es genügt dabei, wenn sich die Feststoffe nur einige Millisekunden berührt haben und dann getrennt werden.

Infolge einer Lichtbogeneinwirkung ist ebenfalls eine Ladungsakkumulation möglich. Die dazu notwendigen Ladungen werden durch den Lichtbogen bereitgestellt. Für den Transport zu einer Akkumulationsfläche sind die vom Lichtbogen hervorgerufenen Gasströmungen sowie die Wirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern verantwortlich, wobei der Einfluss des magnetischen Feldes i. a. von untergeordneter Bedeutung ist.

Durch den Einsatz hochwertiger Isolierstoffe, welche sich aus elektrischer Sicht durch eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit sowie durch eine hohe elektrische Festigkeit auszeichnen, können Oberflächenladungen eine hohe Dichte aufweisen und über einen elektrisch langen Zeitraum existent sein. Die von akkumulierten Ladungen ausgehende Beeinflussung des elektrischen Feldes in gasisolierten Hochspannungskomponenten ist von der Dichteverteilung, der Polarität sowie der Lage des Ladungsgebietes innerhalb der elektrischen Anordnung abhängig. Die maximal mögliche Oberflächenladungsdichte wird hauptsächlich von der elektrischen Festigkeit und der Permittivität der Isolierstoffe sowie der Geometrie der elektrischen Anordnung bestimmt. Bereits bei einer Oberflächenladung mit einer Dichte von beispielsweise 1 nC/cm^2 kommt es zu einer Erhöhung der elektrischen Feldstärke um maximal 11 kV/cm .

Für die Bindung der Ladungen auf der Oberfläche eines Isolierkörpers sind hauptsächlich Spiegelladungskräfte verantwortlich. Abgesehen von der thermischen Wirkung eines Lichtbogens treten in gasisolierten Hochspannungskomponenten keine Kraftwirkungen auf, die größer sind als die Bindungskräfte und zu einem sofortigen Ladungsabbau führen würden. Oberflächenladungen sind damit grundsätzlich immobil.

Bei dem Abbau von Oberflächenladungen wirken die gleichen Mechanismen, die auch für eine Ladungsakkumulation verantwortlich sein können. Allerdings lassen die in gasisolierten Hochspannungskomponenten herrschenden Bedingungen keinen Ladungsabbau im Millisekundenbereich zu. Einzige Ausnahme ist wiederum die Lichtbogeneinwirkung in Schaltgeräten, in deren Folge die Oberflächenladungen vom Isolierkörper abgelöst werden oder am Akkumulationsort rekombinieren können.

Mit Kenntnis der Ursachen der Ladungsakkumulation, der Bindung sowie des Abbaus werden in dieser Arbeit Maßnahmen vorgestellt, durch welche die Entstehung von Oberflächenladungen unterbunden oder deren Einfluss auf das elektrische Feld in gasisolierten Hochspannungskomponenten verringert wird. Dies kann beispielsweise durch eine Glättung von Elektrodenoberflächen, durch eine homogenere Gestaltung des elektrischen Feldes und durch eine Verringerung der elektrischen Beanspruchung der Isolierstoffe erreicht werden. Außerdem sind potentielle Akkumulationsorte in elektrisch unkritische Bereiche zu verlagern und ein Ladungsabbau innerhalb kurzer Zeit zu ermöglichen. In Schaltgeräten ist darauf zu achten, dass während Schaltvorgängen keine Isolierkörperoberfläche von der Oberfläche eines anderen Feststoffs abläuft.

Carsten Protze

3.3 Veröffentlichungen

Bauer, H.; Bohn, Th.: Stationäre und transiente Magnetfelder von Elektroenergieanlagen – Analyse, EMV, Schutz und Vorsorge. EMV-Kompodium 2003, S. 192 – 195

Bauer, H.; Igel, M.; Porath, T.; Leutmann, R.; Schubert, H.: IEC 61850 – Modellierungsempfehlung für Netzbetreiber und Hersteller. Elektrizitätswirtschaft 102 (2003) H. 12, S. 22 – 27

Engelmann, E.: Neue Normen für den Blitz- und Überspannungsschutz (1). Elektropraktiker, Berlin 57 (2003) 1, S. 39 – 41

Engelmann, E.: Neue Normen für den Blitz- und Überspannungsschutz (2). Elektropraktiker, Berlin 57 (2003) 2, S. 124 – 126

Bauer, H.; Walther, J.-Th.: IEC 61850 angewendet in einer Modellschaltanlage. Fachtagung Kommunikationsnormung für die Schutz- und Stationsleittechnik. IEC 61850 – Der Weg in die Praxis. Mannheim, 11.-12.03.2003, Tagungsband S. 8-1 – 8-17

Bauer, H.; Porath, T.; Schubert, H.; Walther, J.-Th.: Modellierung einer Schaltanlage. etz-Report „Offene Kommunikation nach IEC 61850“ (in Druck)

Zivanovic, R.; Schegner, P.; Seifert, O.; Druml, G.; Igel, M.: Resonance Curve Estimation in Compensated Distribution Networks. CIRED, Barcelona/Spanien, 12.-15.05.2003

Luxenburger, R.; Schegner, P.: Accuracy of current transformer modeling and impacts on simulation tasks. 3rd Balkan Power Conference, Bukarest/Rumänien, 11.-13.06.2003, Proceedings, Vol. 3, S. 3 – 7

Lobos, T.; Rezmer, J.; Schegner, P.: Parameter Estimation of Distorted Signals Using Prony Method. IEEE Bologna Power Tech Conference, Bologna/Italien, 23.-26.06.2003

Bauer, H.: Sicherheitsaspekte bei der Nutzung öffentlicher Kommunikationsnetze für die Netzleittechnik. 7. Symposium Netzleittechnik. Koblenz, 24.-26.06.2003, Tagungsband, S. 11-1 – 11-13

Schegner, P.: The Electrical Power Supply system in Germany. Highvolt-Kolloquium, Lagos/Nigeria, 02.-04.07.2003, Proceedings S. 31 – 39

Schegner, P.: Development of Fault and Disturbance Data Handling in the German HV-Network. Highvolt-Kolloquium, Lagos/Nigeria, 02.-04.07.2003, Proceedings S. 87 – 91

Schenk, M.; Löbl, H.: Thermische Bemessung von Netzstationen. Elektrizitätswirtschaft 102 (2003) H. 23, S. 62 – 70

Barth, P., Ludwig, A.; Schegner, P.: Development of the Fault and Disturbance Data Handling in the German HV-network. CIGRE, Australien

3.4 Vorträge

Eberl, G.: Sternpunktbehandlung und Erdung in Kabelnetzen. 61. Kableseminar, Hannover, 18./19.02.2003

Bauer, H.: IEC 61850 angewendet in einer Modellschaltanlage. Fachtagung Kommunikationsnormung für die Schutz- und Stationsleittechnik IEC 61850, Mannheim, 11.03.2003

Bohn, Th.: Die Anwendung von XML zur Netzdatenbeschreibung. „Dresdner Kreis“, Hannover, 26.-28.03.2003

Pilz, G.: Simulationen zur qualitativen Bestimmung des Flickerpegels am Verknüpfungspunkt eines Stahlwerkes. „Dresdner Kreis“, Hannover, 26.-28.03.2003

Bauer, H.: Analyse und Maßnahmen zur EMV bei der Baugruppen- und Geräteentwicklung. EMV-Workshop 25 zur EMV 2003, Augsburg, 03.04.2003

Vlcek, P.: Software-Agenten und deren Anwendung in der elektrischen Energietechnik. GK LIES, Dresden, 08.05.2003

Jochim, M.: Entwicklung von Elektroden für das Plasmaschneiden mit erhöhter Lebensdauer. 11. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 13./14.06.2003

Magier, T.: Stromverdrängung in Hochstrombahnen abhängig von der Geometrie zusätzlicher Kühlelemente. 11. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 13./14.06.2003

Gramsch, Chr.: Thermische Untersuchungen an einem Mittelspannungs-Stromwandler. 11. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, München, 13./14.06.2003

Bauer, H.: Sicherheitsaspekte bei der Nutzung öffentlicher Kommunikationsnetze für die Netzleittechnik. 7. Symposium Netzleittechnik, Koblenz, 26.06.2003

Luxenburger, R.: Das elektrische Energieversorgungsnetz (Grundlagen der Netzberechnung). Seminar Auslegung von Selektivschutzsystemen/Prüfung von Schutzeinrichtungen, Essen, 23./24.09.2003

La Seta, P.: Vorstellung der bisherigen Forschungsarbeiten und Vorhaben innerhalb des GK LIES, Dresden, 10.07.2003

Bauer, H.: Bedeutung der Isolationskoordination für den Blitzschutz. Symposium AK Blitzschutz, Dresden, 19.09.2003

Bauer, H.: Magnetfelder in der Nähe von Elektroenergieanlagen und Maßnahmen zur EMV und EMVU. Workshop HdT, Essen, 15.10.2003

4 Externe Aktivitäten und Kontakte

4.1 Teilnahme an Fachtagungen und Kolloquien

ETG-Fachtagung „Zuverlässigkeit in der Stromversorgung“, Mannheim, 04./05.02.2003	Dr. Bauer
61. Kabelleseminar, Hannover, 18./19.02.2003	DI Eberl
EWERK Jahressymposium, Berlin, 24.02.2003	Prof. Winkler
ETG-Fachtagung „Kommunikationsnormung für die Schutz- und Stationsleittechnik IEC 61850“, Mannheim, 11./12.03.2003	Dr. Bauer
Jahrestagung der VDEW-Landesgruppe Sachsen, Leipzig, 12.03.2003	Prof. Schegner
„Dresdner Kreis“, Hannover, 26.-28.03.2003	Prof. Schegner, Prof. Winkler, Dr. Bauer, DI Bohn, DI Pilz
EMV 2003, Augsburg, 02./03.04.2003	Dr. Bauer
CIREN 2003, Barcelona/Spanien, 12.-15.05.2003	Prof. Schegner, Prof. Winkler, DI Hable, DI Seifert
6. GMA/ETG-Fachtagung „Netzregelung“, München, 21./22.05.2003	DI Bohn
HIGHVOLT-Kolloquium 2003, Dresden, 22./23.05.2003	Prof. Schegner, Dr. Löbl, Dr. Speck, Dr. Engelmann, Dr. Okafor, DI Magier
3. Balkan Power Conference, Bukarest/Rumänien, 11.-13.06.2003	DI Luxenburger
11. Hochspannungstechnisches Kolloquium, München, 12.-14.06.2003	Dr. Löbl, Dr. Speck, DI Gramsch, DI Joachim, DI Magier
7. AK-Symposium „Netzleittechnik“, Koblenz, 24.-26.06.2003	Dr. Bauer

Symposium „100 Jahre Sachsenwerk“, Dresden,
04./05.09.2003

Dr. Speck

ETG-Workshop „Energieversorgung“, Frankfurt/Main,
30.09.2003

Prof. Schegner

ETG-Kongress 2003, Hamburg, 07./08.10.2003

Prof. Schegner,
Dr. Bauer, Dr. Speck

Workshop „Oberschwingungen“, Kőszeg/Ungarn,
29.-31.10.2003

Prof. Winkler,
DI Meyer

DFG-Kolloquium, Kaiserslautern, 12./13.11.2003

Prof. Winkler,
DI Bohn, DI Schulz

1. CIGRE-Informationsveranstaltung“, Berlin, 18.11.2003

Prof. Schegner,
Dr. Bauer

4.2 Veranstaltungen des Instituts

- 09.01.03 Schnupperstudium für einen Tag
- 10.05.03 Uni-Tag 2003
- 27.06.03 Lange Nacht der Wissenschaften

Wissenschaftliche Kolloquien:

- 14.01.03 Prof. Lemke, Lemke-Diagnostics GmbH, Volkersdorf
„Stand und Perspektive der digitalen Signalverarbeitung für die Isolationsdiagnose“
- 29.04.03 Dipl.-Ing. Kirkman, Siemens AG, Nürnberg
„Webbasierte Lösungen für die Stationsleittechnik“
- 20.05.03 Prof. Pilling, CELLPACK GmbH, Labor Zittau
„Isolierungen von Mittelspannungs-Kabelgarnituren“
- 17.06.03 Dipl.-Ing. Neubrand, ALSTOM, Dresden
„Mittelspannungsanlagenfertigung in Dresden gestern und heute“
- 15.07.03 Dipl.-Ing. Pilz, TU Dresden, IEEH
„Gesteuertes Schalten von Transformatoren zur Reduzierung des Einschaltstroms“
- 21.10.03 Dr.-Ing. Schöffner, Siemens AG, Erlangen
„GIL – Eine Übertragungstechnik für die neuen Anforderungen des Höchstspannungsnetzes“
- 25.11.03 Dr.-Ing. Siegmund, EnBW Regional AG, Stuttgart
„Workforce Management in Energieversorgungsunternehmen“
- 09.12.03 Dipl.-Ing. Hiller, EnBW Regional AG, Stuttgart
„Modellierung des Störungsmanagements in MS-Netzen“

5. Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) und der Arbeitskreis „Arbeiten unter Spannung“ im VDE-Bezirksverein Dresden haben zur inzwischen 5. Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ am 09. und 10. Oktober 2003 nach Dresden eingeladen. Dieser Einladung folgten 175 Fachleute in das Hörsaalzentrum der Technischen Universität. Die Tagung wurde wie in den vergangenen Jahren durch Mitarbeiter des Instituts organisiert und geleitet.

Der Nachfrage folgend, stand auf der Fachtagung das AuS im Mittelspannungsbereich im Mittelpunkt. Darüber wurde in mehreren Beiträgen berichtet. Eine Auswahl von Technologien konnte – nun schon zur Tradition geworden – im Hochspannungsversuchsfeld des Instituts vorgeführt werden. Besonderes Interesse fanden

- die Arbeiten an Mittelspannungs-Freileitungen mittels isolierender Hubarbeitsbühnen (Isolatorenwechsel, Einbau von Trennstellen, Montage von Vogelschutzeinrichtungen) und
- die Arbeiten an Mittelspannungs-Schaltanlagen (Reinigen von Isolierungen und Schalterantrieben, Wartung von Kontakten, Überbrückung von Lasttrennschaltern, Nachfüllen von Massekabelendverschlüssen).

Einen weiteren Tagungsschwerpunkt bildeten Beiträge zum Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Hochspannungs-Anlagen. Da diese Arbeiten immer häufiger ausgeführt werden, ist es notwendig, den sicherheitstechnischen und technologischen Aspekten der dem AuS sehr nahe stehenden Technologien die erforderliche Aufmerksamkeit zu schenken. Unter diesem Schwerpunkt wurde auch von den an unserem Institut durchgeführten Untersuchungen an feuchten und beregneten isolierenden Seilen berichtet.

Ein dritter Themenkomplex beschäftigte sich mit der Wirkung und Beherrschung von Störlichtbögen in Niederspannungsanlagen und mit der Weiterentwicklung persönlicher Schutzausrüstungen. Erstmals wurde im Rahmen der AuS-Fachtagung auch der Versuch einer ökonomischen Bewertung des AuS unternommen.

Schließlich konnte auch über neue Vorschriften berichtet werden. Entbrannt in der Vergangenheit noch häufig Diskussionen über die Zulässigkeit von AuS, so konnte auf dieser Tagung nach nur 2jähriger Erarbeitungszeit die Berufsgenossenschaftliche (BG-)Regel „Arbeiten unter Spannung“ vorgestellt werden. Mit dieser Regel ist eine auf BGV A2 und VDE 0105 gegründete Handlungsanleitung für das AuS in allen Spannungsebenen entstanden. Passend zur BG-Regel befasste sich ein weiterer Beitrag mit einer internationalen Leitlinie für die einheitliche Beurteilung der Befähigung von AuS-Personal.

Der gute Besuch der Fachtagung und der in zahlreichen Beiträgen und Vorführungen demonstrierte Anwendungsgrad unterstreichen das steigende Interesse am AuS, die Notwendigkeit der breiteren Nutzung dieses Arbeitsverfahrens und die

in Deutschland inzwischen wieder einkehrende Professionalität bei der Ausführung von AuS. In diesem Sinne haben sich die Dresdner AuS-Fachtagungen als anerkannte Plattform für die Präsentation und Diskussion des Entwicklungsstandes und für den Erfahrungsaustausch etabliert.

Dr.-Ing. Eberhard Engelmann

22. Niederspannungs-Fachtagung

Am 04. November 2003 veranstaltete der „Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik“ Bezirksverein Dresden e. V., in Zusammenarbeit mit der Energietechnischen Gesellschaft und dem Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik der TU Dresden die 22. „Niederspannungs-Fachtagung“ in Dresden.

Die 22. Niederspannungs-Fachtagung setzte sich zum Ziel, über neue und überarbeitete VDE-Bestimmungen für das Errichten von Niederspannungsanlagen sowie praxisgerechte Beispiele der Elektroinstallation zu informieren.

Ebenso wurden die überarbeitete Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (RbALei) für Sachsen sowie die Anforderungen an Blitzschutzmaßnahmen gemäß der DIN V VDE V 0185 behandelt. Weiter präsentiert wurden Maßnahmen zur Einhaltung der EMV in Niederspannungsversorgungssystemen, Beispiele zur softwarebasierten Planung vom Netzanschluss bis zur Steckdose unter Berücksichtigung von Selektivitätskriterien und Abschaltzeiten sowie Ergebnisse eines sinnvollen Einsatzes alternativer Energiequellen am Beispiel von Brennstoffzellen.

Die Präsentation der DREWAG zu Maßnahmen und Strategien der Schadensbeseitigung und Schadensvermeidung im Hochwasserfall erfuhr unter dem Eindruck der Jahrhundertflut in Sachsen im letzten Jahr eine besondere Bedeutung.

Die Tagung wurde von ca. 320 Teilnehmern besucht.

Dr.-Ing. Karl-Heinz Freytag

4.3 Weiterbildung

- 04.11.03 Dr. Löbl
Stromüberlastbarkeit, Erwärmung und Stromtragfähigkeit
Essen; 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 CIGRE
- 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
- Mitglied im Kabelbeirat Hannover

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

- Arbeitsausschuss „Spannungsqualität“ des VDN Berlin
- Fachbereich V2 „Übertragung und Verteilung elektrischer Energie“ der Energietechnischen Gesellschaft im VDE
- Deutsches Komitee CIRED 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

- Stellvertretender Obmann des DKE – K 122 „Isolationskoordination“
- VDE-Arbeitskreis „Sicherheits- und Unfallforschung“
- Vorsitzender des Arbeitskreises „Koordination der Isolation“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- Forschungsverbund „Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme“
- ITG – FA 5.5 „Prozessdatenübertragung“
- Persönliches Mitglied CIGRE, FGH, DEMVT

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 „Hochspannungsschaltanlagen“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- EMTP Usergruppe

Dr.-Ing. E. Engelmann

- Komitee 251 „Blitzschutzanlagen“ im DKE
- Fachbereich V2 „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-Hochspannungsisolierungen
- 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 400 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 Varioscans 2011
- 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 Protokolldrucker
- 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