



---

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

# **JAHRESBERICHT**

**DES**

**INSTITUTS FÜR ELEKTRISCHE ANLAGEN**

**2000**

Herausgegeben vom:

Institut für Elektrische Anlagen  
Technische Universität Wien

Gußhausstraße 25/373  
A-1040 Wien

Telefon: 0043-1-588 01/37301  
Telefax: 0043-1-588 01/37399

Redaktion: A.o.Univ.Prof. Dr. H. Müller

## Vorwort

Sehr geehrte Freunde unseres Instituts,

wie jedes Jahr übermitteln wir Ihnen wieder einen Jahresbericht der Aktivitäten unseres Instituts für Elektrische Anlagen.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der dezentralen Energieversorgung mit Strom- und Wärmeerzeugung beim Verbraucher haben wir weiter vorangetrieben.

Im Arbeitsgebiet EMV waren wir im weiteren Ausbau der Blitzmessstation auf dem Gaisberg bei Salzburg aktiv. Das Arbeitsgebiet „Power Quality im liberalisierten Markt“ bauen wir derzeit stark aus, da wir der Meinung sind, dass bei der derzeitigen Kosteneinsparung die gemeinwirtschaftliche Bedeutung einer sicheren Energieversorgung nicht vergessen werden darf.

Wir haben dieses Jahr interessante Aufträge bearbeitet, die sich mit der Restrukturierung von Energieversorgungsnetzen beschäftigen und ein modernes Asset-Management ermöglichen.

In Kooperation mit der Verbundgesellschaft, dem Bundesministerium für Verkehr, Infrastruktur und Technologie sowie mit dem Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau und dem Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien konnten wir zwei interessante Projekte auf dem Gebiet „Ökologischer Schwerlastverkehr“ abschließen.

Nachdem Anfang 1999 das Institut für Hochspannungstechnik erfolgreich mit dem Institut für Elektrische Anlagen zusammengeführt wurde, werden wir ab 1. Januar 2001 mit dem Institut für Energiewirtschaft fusionieren. Unsere neue Institutsbezeichnung wird sein „Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft“. Wir werden nächstes Jahr die vakante Stelle eines Professors für Energiewirtschaft wiederbesetzen können.

Wir möchten uns bei den Elektrizitätsversorgern, den Verbänden und der energietechnischen Industrie für die gute Zusammenarbeit und die interessanten Forschungsaufträge bedanken.

Ich wünsche Ihnen ein frohes Weihnachtsfest, Gesundheit, Glück und Erfolg im neuen Jahr auch im Namen der Mitarbeiter des Instituts

Ihr

Wien, im Dezember 2000

o.Univ.Prof. Dr. Günther Brauner

## INHALT

	Seite
1. Personalverzeichnis	1
2. Lehrbetrieb	3
3. Diplomarbeiten	13
4. Dissertationen	14
5. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	20
6. Forschungsförderung und Projekte	39
7. Preise und Ehrungen	39
8. Forschungsberichte	39
9. Veröffentlichungen	40
10. Vorträge	42
11. Veranstaltungen/Seminare	43
12. Mitwirkung in Fachgremien	44
13. Einrichtungen des Instituts	45

**1. Personalverzeichnis**

58801-DW

Vorstand	<b>Brauner</b> Günther, o.Univ.Prof. Dr.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:g.brauner@tuwien.ac.at">g.brauner@tuwien.ac.at</a>	37310
Stellvertreter	<b>Hadrian</b> Wolfgang, Ao.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. E-Mail: <a href="mailto:wolfgang.hadrian@tuwien.ac.at">wolfgang.hadrian@tuwien.ac.at</a>	37315
Sekretariat	<b>Gam</b> Sabine E-Mail: <a href="mailto:s.gam@tuwien.ac.at">s.gam@tuwien.ac.at</a>	37301
	<b>Frey</b> Christine E-Mail: <a href="mailto:office@esb735.tuwien.ac.at">office@esb735.tuwien.ac.at</a>	37302
Ao.Univ.Prof.	<b>Müller</b> Herbert, Dipl.-Ing. Dr.techn. E-Mail: <a href="mailto:h.mueller+e373@tuwien.ac.at">h.mueller+e373@tuwien.ac.at</a>	37319
	<b>Theil</b> Gerhard, Dipl.-Ing. Dr.techn. E-Mail: <a href="mailto:gerhard.theil@tuwien.ac.at">gerhard.theil@tuwien.ac.at</a>	37317
Univ.Ass.	<b>Berger</b> Karl, Univ.Ass. Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:kb@esb735.tuwien.ac.at">kb@esb735.tuwien.ac.at</a>	37323
	<b>Berger</b> Manfred, Univ.Ass. Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:m.berger+e373@tuwien.ac.at">m.berger+e373@tuwien.ac.at</a>	37311
	<b>Hammerschmidt</b> Martin, Univ.Ass. Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:mh@esb735.tuwien.ac.at">mh@esb735.tuwien.ac.at</a>	37326
	<b>Raschbacher</b> Franz, Univ.Ass. Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:f.raschbacher@tuwien.ac.at">f.raschbacher@tuwien.ac.at</a>	
	<b>Zapreva</b> Susanne, Univ.Ass. Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:s.zapreva@tuwien.ac.at">s.zapreva@tuwien.ac.at</a>	37335
wissenschaftl. Mitarbeiter	<b>Geßl</b> Bernhard, Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:bg@esb735.tuwien.ac.at">bg@esb735.tuwien.ac.at</a>	37349
	<b>Hennerbichler</b> Christian, Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:c.hennerbichler@tuwien.ac.at">c.hennerbichler@tuwien.ac.at</a>	37336
	<b>Mair</b> Martin, Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:martin.mair+e373@tuwien.ac.at">martin.mair+e373@tuwien.ac.at</a>	37332
	<b>Neuhaus</b> Alexander, Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:an@esb735.tuwien.ac.at">an@esb735.tuwien.ac.at</a>	37326
	<b>Pöppl</b> Georg, Dipl.-Ing. E-Mail: <a href="mailto:g.poeppel@tuwien.ac.at">g.poeppel@tuwien.ac.at</a>	37318
	<b>Gündl</b> Walter, FOL E-Mail: <a href="mailto:wg@esb735.tuwien.ac.at">wg@esb735.tuwien.ac.at</a>	37341
Bundeslehrer		

allgem.Univ.Bed.	<b>Besau</b> Franz	37346
	<b>Jobst</b> Rainer	37339
	<b>Smolnik</b> Karl, Fachob.Insp.	37338
Freie Mitarbeiter	<b>Chladek</b> Eva	37325
Zugeteilt dem Institut:	<b>Fickert</b> Lothar, O.Univ.Prof. Dr.techn.	37301
	<b>Fröhlich</b> Klaus, Dr.techn.	37302
	<b>Michal</b> Roland, Univ.Do. Dr.techn.	37302
	<b>Moraw</b> Günter, Univ.Do. Dr.techn.	37301
	<b>Rieder</b> Werner, em.o.Univ.Prof. Dr.phil.	37322
	<b>Stimmer</b> Herbert, em.o.Univ.Prof. Dr.techn. Dr.h.c.	37316
Lehrauftrag am Institut:	<b>Gös</b> Reinhard, Univ.Lektor Dr.techn.	
	<b>Hofbauer</b> Franz, Univ.Lektor Dr.techn.	
	<b>Irsigler</b> Manfred, Univ.Lektor Hofrat Dipl.-Ing.	
	<b>Kapfer</b> Ernst, Univ.Lektor Hofrat Dipl.-Ing.	
	<b>Widl</b> Wolfgang, Univ.Lektor Dr.techn.	

## 2. Lehrbetrieb

### Pflichtlehrveranstaltungen für Studiengang "Energie- und Antriebstechnik"

#### **Kraft- und Umspannwerke**

**Brauner, G.**

5. Semester, 2 VO

Energiewirtschaftliche Grundlagen, Solarkraftwerke, Windkraftanlagen, Hoch-, Mittel- und Niederdruck Wasserkraftwerke, Dampfkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, GUD-Kraftwerke, Kernkraftwerke, Wirtschaftlichkeit von Kraftwerken, Eigenbedarf von Kraftwerken, Aufbau von Schaltanlagen und Einsatz für Netzleitaufgaben.

#### **Energieübertragung und -verteilung**

**Brauner, G.**

6. Semester, 3 VO

Aufgaben der elektrischen Energieübertragung, Leitungen und Kabel, Transformatoren, symmetrische Komponenten, Fehler, Lastfluß, Kurzschlußrechnung, Stabilität, Schutztechnik, Netzzrückwirkung: Oberschwingungen und Flicker, Elektromagnetische Beeinflussung, Überspannungen und Isolationskoordination.

#### **Übungen aus Kraft- u. Umspannwerke**

**Theil, Müller, Hammerschmidt,  
Berger M., Raschbacher, Zapreva**

7. Semester, 1,5 UE

Zum Stoff der Vorlesung "Kraft- und Umspannwerke" werden detaillierte Berechnungsgrundlagen erläutert sowie Rechenbeispiele vorgerechnet. Inhalt: Solarkraftwerke, thermische Kraftwerke, Wasserkraftwerke, Wirtschaftlichkeit von Kraftwerken, Kraftwerksregelung und Netzregelung, Zuverlässigkeit in Kraftwerken, Entstickung und Entschwefelung. Lehrziel: Verstehen der Energieumwandlungsprinzipien, Berechnung von Wirkungsgraden, Analyse von Kraftwerksprozessen, Bewerten der Wirtschaftlichkeit der Energieumwandlung, Verstehen der Zuverlässigkeit.

#### **Übungen aus Energieübertragung und -verteilung**

**Müller, Hadrian, Theil, Berger M.,  
Raschbacher, Zapreva**

8. Semester, 2 UE

Zur Vorlesung "Energieübertragung und -verteilung" werden Rechenverfahren erläutert und Rechenbeispiele aus folgenden Gebieten vorgerechnet: Leitungskonstante, Lange Leitung (mit Spannungshaltung und Kompensation), elektromagnetische Beeinflussung, Lastfluß- und Kurzschlußberechnung, mechanische und thermische Kurzschlußwirkungen, transiente Stabilität, Netzzrückwirkungen.

**Laborübungen aus Elektrische Anlagen E-A**  
9. Semester, 3 LU

**Müller, Hadrian, Theil, Berger M.,  
Hammerschmidt, Raschbacher, Zapreva**

Die Laborübungen sollen den Stoff der Vorlesungen Kraft- u. Umspannwerke und Energieübertragung und -verteilung durch praktische Übungen vertiefen. Folgende Übungen sind vorgesehen:

- Erdschluß in Drehstromnetzen
- Messungen an Schutzeinrichtungen elektrischer Maschinen und Anlagen
- Wirk- und Blindleistungsregelung
- Lange Leitung und Kompensation
- Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme
- EMV-Übung 1 Schutz gegen Überspannungen
- EMV-Übung 2 Induktive Beeinflussung
- Netzurückwirkungen

**Hochspannungstechnik**  
2 VO

**Brauner, G.**

Überblicksmäßiges Kennen der physikalischen Phänomene in Isoliersystemen und der Isolationskoordination. Beschreiben prinzipieller Arten von Isolieranordnungen (Luftisolation, Flüssigkeitsisoliersysteme, Mischisoliersysteme, Festkörperisoliersysteme und Druckgasisoliersysteme). Komponenten der Energieübertragung und Verteilung kennen. Wissen, wie deren Funktion überprüft werden kann (Spannungsformen, Erzeugung und Messung hoher Spannungen, Prüfprozeduren).

**Elektrische Schaltgeräte**  
2 VO

**Widl, W.**

Systematik und physikalische Grundlagen (Kontakt, Schaltlichtbogen, Kontaktwerkstoffe) der Schaltgeräte. Funktionen und Bauformen der Schaltgeräte wie: Hilfsstromschalter (Taster, Relais, Mikroschalter, Paketschalter), Verbraucherschalter (Schütze, Schutzschalter, Anlasser, Nockenschalter), Netzschalter (Trafo-Stufenschalter, Trennschalter, Lastschalter, Leistungsschalter), Sicherungen und Überspannungsableiter.

**Labor Hochspannungstechnik**  
2 LU

**Berger K., Hammerschmidt**

Prüfung eines Mittelspannungs-Vakuumschalters in einem synthetischen Prüfkreis, computerunterstützte Dimensionierung der Prüfkreisbauelemente. Erzeugung hoher Wechselspannung, Einsatz verschiedener Teilentladungsmeßsysteme. Prüfung der dielektrischen Festigkeit eines Freiluft-Trennschalters mit hoher Wechselspannung und Stoßspannung. Computerunterstützte Dimensionierung der Hauptabmessungen sowie numerische Feldberechnung für eine SF<sub>6</sub>-Luft Durchführung, praktische Prüfung der Spannungsfestigkeit mit voller und abgeschnittener Stoßspannung.



**Pflichtlehrveranstaltungen für Studiengang "Automatisierungs- und Regelungstechnik"**

**Elektrische Anlagen für Regelungstechniker**

**Brauner, G.**

6. Semester, 1,5 VO

Energiewirtschaftliche Grundlagen, Prinzipien der Energieumwandlung: Solar-, Wind-, Wasser-, Dampfkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, Kraftwerks- und Netzregelung, Leitungen und Kabel, Kurz- und Erdschlüsse, Schutztechnik, Schaltanlagen, Netzzrückwirkungen industrieller Anlagen: Oberschwingungen, Spannungsänderungen, Flicker, Bewertung von Netzzrückwirkungen, Maßnahmen zur Beherrschung von Netzzrückwirkungen.

**Übungen aus Elektrische Anlagen für Regelungstechniker**

**Hadrian, Müller, Theil,  
Berger M., Raschbacher, Zapreva**

7. Semester, 1 UE

Zur Vorlesung "Elektrische Anlagen" werden die Rechenverfahren erläutert und Rechenbeispiele aus folgenden Gebieten vorgerechnet: Solarkraftwerke, Windkraftwerke, Wasserkraftwerke und thermische Kraftwerke, Kraftwerksregelung und Netzregelung, Wirtschaftlichkeit von Kraftwerken und Netzen, Nennwerte von Leitungen und Kabeln, Spannungsberechnung und Kompensation, Kurzschlußrechnung, Netzzrückwirkungen: Oberschwingungen und Flicker, elektromagnetische Beeinflussung. Lehrziel: Berechnen einfacher Energieumwandlungsprozesse, Berechnen der Umweltauswirkungen CO<sup>2</sup>, Schwefel, Stickoxyde, Bestimmung der Kosten der Energieerzeugung und wirtschaftliche Auslegung der Bedarfsdeckung, Auslegung von Netzen unter Berücksichtigung von Netzzrückwirkungen, Berechnung von EMV-Problemen und Bewerten von Abhilfemaßnahmen.

**Laborübungen aus Elektrische Maschinen und Anlagen E-B**

**Rummich, E.**  
parallel mit **Hadrian, Raschbacher**

9. Semester, 2 LU

Diese Laborübungen finden gemeinsam mit dem Institut für Elektrische Maschinen statt. Sie sollen den Stoff der Vorlesungen "Betrieb elektrischer Maschinen" und "Elektrische Anlagen" durch praktische Übungen vertiefen. Neben den Übungen, die vom Institut für Elektrische Maschinen betreut werden, sind seitens des Instituts für Elektrische Anlagen folgende Übungen vorgesehen:

Induktive Beeinflussung  
Schutz gegen Überspannungen

**Schaltgeräte und Hochspannungstechnik/  
Switching Devices and High Voltage Technol.**      **Rieder, Hadrian, Müller, Theil,  
Berger K., Hammerschmidt**  
je 1,5 SE

Systematik und physikalische Grundlagen der Schaltgeräte. Anforderungen und Kenngrößen. Funktionen und Bauformen der Schaltgeräte. Physikalische Grundlagen der Hochspannungstechnik. Prüftechnik, technische Isolieranordnungen und Isolationskoordination. Hochspannungskomponenten in Energieübertragung und -verteilung. Elektromagnetische Verträglichkeit.

### Pflichtlehrveranstaltungen für alle Studienzweige der Studienrichtung Elektrotechnik

**Diplomandenseminare**      **(Brauner/Rieder/Fröhlich/Eltschka/  
2 SE      Hadrian/Müller/Theil)**

### Pflichtlehrveranstaltungen für die Studienrichtung Maschinenbau

**Laborübung Elektrotechnik**      **Rummich, E. parallel mit Raschbacher,  
und Elektronik für MB, VT      Berger M.      2 LU**

Diese Laborübung findet in Kooperation mit dem Institut für Elektrische Maschinen und Allgemeine Elektrotechnik statt. Vom Institut für Elektrische Anlagen wird der Übungsteil "Grundlegende Messungen der ET" betreut. Im Rahmen der Teilübung soll das Messen von Spannung, Strom, Widerstand und Leistung in Gleich- und Wechselstromkreisen demonstriert werden.

### Wahlllehrveranstaltungen

**EDV-orientierte Projektarbeit für ET**      **Brauner, Hadrian, Müller, Theil,  
4 AG      Berger K., Berger M., Hammerschmidt,  
Raschbacher, Zapreva**

**Privatissimum für Dissertanten**      **(Brauner/Rieder//Eltschka/Hadrian/  
2 PV      Müller/Theil)**

**Betrieb elektrischer Netze****Brauner, G.**  
2 VO

Allgemeine Anforderungen an den Netzbetrieb,

*Normalbetrieb:* Wirkleistungs-Frequenz-Regelung primär und sekundär, Spannungs-Blindleistungsregelung im Übertragungs- und Verteilnetz.*gestörter Betrieb:* Störung der Wirkleistungsbilanz und Unterfrequenz-Lastabwurf, Störung der Blindleistungsbilanz und Spannungszusammenbruch, Netzwiederaufbau.*Sicherheit im Netzbetrieb:* Sicherheitsregeln, Schutzklassen, Vorschriften und Gesetze.*wirtschaftlicher Netzbetrieb:* Stromgestehungskosten, wirtschaftliche Kraftwerks-, Leitungs- und Transformatorauslegung.*Netzplanung:* Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetze.*Netzleittechnik:* Aufgaben, Struktur, Fernwirkssysteme.**Planung von Elektroenergiesystemen**  
(Seminar mit Übungen am Computer)**Brauner, G.** parallel mit  
**Zapreva**  
2 SE

Lastmodellierung und Gleichzeitigkeit, Lastflußrechnung und Behandlung von Konvergenzproblemen, Planung von Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen, Schwachstellenanalyse, Blindleistungskompensation, Kurzschlußberechnung, Kurzschlußbegrenzung, Erdung und Erdschlußlöschung, Berechnung großer Energiesysteme und Netzreduktion, Oberschwingungsanalyse in Verteilnetzen, Filterauslegung und rechnerische Überprüfung.

**Netzurückwirkungen****Brauner, G.**  
1,5 VO

Spannungsqualität als Beurteilungsmaßstab, Ursachen für Oberschwingungen: Leistungselektronik, Sättigungserscheinungen, Analyse und Simulationsverfahren für Oberschwingungen, Begrenzungsverfahren für Oberschwingungen, Ursachen für Flickererscheinungen: Schweißanlagen, Lichtbogenöfen, Laständerungen; Analyse und Simulation von Flickervorgängen, Begrenzungsmaßnahmen, internationale Vorschriften. Verstehen der Ursachen für Netzurückwirkungen, Analysieren von periodischen und nichtperiodischen Netzurückwirkungen, Planen von Begrenzungsmaßnahmen.

**Simulationsverfahren der Energietechnik****Brauner, G.**  
1,5 VO

Beschreibung dynamischer Vorgänge durch Differentialgleichungen, Verfahrensfehler, numerische Stabilität, Zustandsgleichungen, Startwerte, Simulation transienter Vorgänge, mittelfrequente elektromagnetische Ausgleichsvorgänge, elektromechanische Vorgänge, transiente, oszillatorische und statische Stabilität, Regelvorgänge, Simulation von thermischen und hydraulischen Systemen in der Energietechnik.

**Seminar Simulationsverfahren**

**Brauner, G.** parallel mit  
**Zapreva**  
2,0 SE

Übungen mit MATLAB/SIMULINK am PC zur Vorlesung Simulationsverfahren der Energietechnik

**Störungen und Schutztechnik in elektrischen Netzen**

**Fickert, L.**  
2 VO

Stellung des Schutztechniklers im Betriebsgeschehen (Verantwortung, Analyse und Planung). Netzfehler und Schäden an Anlagen (Ursachen, Auswirkungen, Bedeutung für den Anlagen- und Netzbetrieb). Störungsaufklärung als post mortem Analyse und Werkzeug zur Schwachstellenerkennung (Gerätetechnik, theoretische Grundlagen der schutztechnischen Fehlerberechnung, insbesondere Auswertung von Netzfehler- und Geräteausfallsstatistiken). Schutzeinrichtungen als Betriebsmittel (Abschalten - Umschalten - Melden - Registrieren), die verschiedenen Funktionsprinzipien von Schutzeinrichtungen (Strom, Spannung, Phasenmessung, abgeleitete Größen) mit Beispielen (Leitungs-, Transformator-, Generator- und Sammelschienenschutz) und Exkursion.

**Hochspannungstechnik unter Nutzung elektronischer Werkzeuge**

**Gös, R.**  
2 VO

**Elektromagnetische Verträglichkeit**

**Hadrian, W.**  
1,5 VO

- Grundlagen und Definitionen, - Praktische Beispiele, - Ohmsche Beeinflussung, - Die Erde als Wechselstromleiter, - Berechnung von Induktivitäten und Gegeninduktivitäten, - Schirmung,  
- Blitzschutz, - Der nukleare elektromagnetische Puls (NEMP)

**Blitzschutz**

**Hadrian, W.**  
1,5 VO

Blitze und die mit ihnen verknüpften transienten Felder (engl. LEMP Lightning Electro Magnetic Puls) führen zu starken elektromagnetischen Beeinflussungen am Einschlagsort und über den LEMP auch in der näheren Umgebung. Damit der Blitzschutz zweckmäßig aufgebaut werden kann, müssen die wesentlichen Eigenschaften der Blitze bekannt sein.

- Gewitterentstehung, Blitzphysik, - Blitzparameter und ihre Bedeutung, - äußerer Blitzschutz, - innerer Blitzschutz, - Vorschriftenwesen, - praktische Beispiele

**Labor Hochspannungstechnik 2****Berger K., Berger M., Hammerschmidt**  
2 LU

Hochspannungserzeugung (Gleich-, Wechsel- und Stoßspannung) und Hochspannungsphänomene (Entladungsmechanismen, Lichtbogenwanderung). Druckabhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit in Gasen (Paschen-Gesetz). Optimierung eines Leistungsschalter-Kontaktsystems am Computer (elektrostatische Feldsimulation), Test des zuvor am Computer simulierten Kontaktstückes. Isolationskoordination an einem Modell einer Schaltstation (Messung an einem Niederspannungsmodell und Computersimulation der transienten Vorgänge bei Blitzstoß).

**Planung und Betrieb v. Schaltanlagen****Hofbauer, F.**  
1,5 VO

Projektierungsgrundlagen, Anforderungen an Spannungsfestigkeit, Stromtragfähigkeit und Kurzschlußfestigkeit, Auswahlkriterien für die zum Einsatz kommenden elektrischen Betriebsmittel, Grundkonzepte elektrischer Anlagen in Innenräumen und im Freien, fabriksfertige Anlagen, Schutzmaßnahmen, Erdungsanlagen, Kabelverlegung, Sekundäranlagen: Eigenbedarfsversorgung, Schaltwarten, Erzeugung und Verteilung der Antriebsenergieträger, Sonderfälle: Elektromagnetische Verträglichkeit, Instandhaltungsmanagement, CAD im Anlagenbau, die Bedeutung der Internationalen Normung, Anwendung der Systemtechnik bei interdisziplinären Problemen (z.B. Aufbau des österreichischen Blitzortungssystems), aktuelle Fragen des Umweltschutzes (z.B. Lärm, Elektromagnetische Felder, Entstickungsanlagen und Entschwefelungsanlagen).

**Grundlagen der elektrischen Bahnen****Irsigler, M.**  
1,5 VO

Entwicklungstendenzen des Eisenbahnbetriebes, Aufgabenstellung der elektrischen Traktion, Betriebs-, Strom- und Stromversorgungssysteme, Energiebedarf und Energiewirtschaft elektrischer Bahnen, Dimensionierung der Bahnstromerzeugungs- und -verteilungsanlagen, Systemvergleiche und Grenzleistungsprobleme, Gestaltung der Stromversorgungsanlagen, elektrische Triebfahrzeuge, Betrieb elektrischer Bahnen unter besonderer Berücksichtigung des technischen Arbeitsschutzes, Kostenstruktur im elektrischen Bahnbetrieb.

**Projektierung Elektrischer Bahnen****Irsigler, M.**  
1 VO

- Vergleich der verfügbaren Bahnstromsysteme bei Vollbahnen (technische, betriebliche und wirtschaftliche Kenngrößen von Gleichstromsystemen, Einphasenwechselstromsystemen 16 2/3 Hz und Wechselstromsystemen mit Industriefrequenz)
- Voraussetzung für Elektrifizierungsprojekte (Streckenbelastungen, Investitionsanteile, traktionsabhängige jährliche Betriebskosten)
- Bereitstellung der Traktionsenergie (Ermittlung des Energie-Leistungsbedarfes; Planung des Bahnstromnetzes, der Energieerzeugungs- und Verteilungsanlagen; Dimensionierung der Anlagen; Kurzzeit - Dauerbelastbarkeit elektrischer Betriebsmittel; Versorgungssicherheit,

- Verfügbarkeit; Schaltung der Unterwerke, des Fahrleitungsnetzes; Schutzmaßnahmen; Betriebsführung; Fehlerortung)  
 - Fahrleitungsanlagen (mechanische, elektrische Bemessung)

### **Grundkonzepte elektrischer Triebfahrzeuge**

**Kapfer, E.**

1 VO

- Einführung: historische Entwicklung, Vorteile der elektrischen Traktion, Elektrifizierungswürdigkeit
- Hochgeschwindigkeitsverkehr
- automatisierter Fahrbetrieb
- Zugförderungsmechanik (fahr-dynamische Grundlagen)
- heutige Ausbildungsmöglichkeiten elektrischer Triebfahrzeuge für Fernbahnen, Nahverkehrssysteme sowie Schmalspur- und Nebenbahnen
- Steuerung elektrischer Triebfahrzeuge
- Wechselstromtriebfahrzeuge
- Gleichstromtriebfahrzeuge
- Mehrsystemtriebfahrzeuge
- Antriebe
- Hilfsbetriebe
- dieselelektrische Triebfahrzeuge

### **Cost and Quality Management in Switchgear Technology**

**Michal, R., Widl, W.**

2 VO

Definition of cost. Costs versus expenses. Calculation of product costs, presentation and application of a calculation scheme. Limits of calculation schemes, alternative approaches. Development costs. Cost - benefit analysis of development projects. Statistical methods for quality techniques. Model of a factory. Quality in research and development. Quality in purchasing and production. Quality in sales and marketing. Quality management. Legal background of sales and marketing of products.

### **Rechnermethoden in der elektrischen Energieversorgung**

**Müller, H.**

1,5 VO

"Systemtechnik" (Einleitung). Grundlegende Gebiete aus der Mathematik: Numerische Mathematik, Extremwertaufgaben (Optimierung), Statistik, Graphentheorie. Systemanalyse: Lastfluß-, Kurzschluß-, Stabilitätsberechnung, Zuverlässigkeitsanalyse, Prognose. Einsatz der Verfahren in Betriebsführung und Planung (Hierarchiestufen und systemtechnische Strukturen), Betriebsführung (Protokollierung, Steuer- und Regelaufgaben, State Estimation, Sicherheitsüberwachung, wirtschaftliche Lastverteilung und Fahrplanerstellung), Planung und Unternehmensführung. Datenbanken, Rechnersysteme, Mensch-Maschine(Rechner)-Kommunikation.

**Ausgew. systemtechnische Methoden  
der elektrischen Energieversorgung**

**Müller, H.**  
1,5 VO

Kurz- bis mittelfristige Lastprognosen zur Betriebsplanung (Methoden: Zeitreihenanalyse, multiple Regression, Mustererkennung). Höherwertige Betriebsführungs- und -planungsaufgaben, insbesondere: Netzsicherheitsüberwachung und eventuell Zustandskorrektur (Algorithmen: verschiedene, auch rasche/genäherte, numerische Lösungsverfahren für lineare/nicht-lineare und auch überbestimmte Gleichungssysteme); Kraftwerkseinsatzoptimierung und wirtschaftliche Lastaufteilung inkl. Optimallastfluß (Methoden: verschiedene Verfahren der linearen und nichtlinearen Optimierung unter Nebenbedingungen)

**Physikalische Grundlagen der Schaltgerätetechnik**

**Rieder, W.**  
2 VO

Vermittlung spezieller physikalischer Kenntnisse über Phänomene, welche das Funktionieren elektrischer Schaltgeräte wesentlich beeinflussen und für Entwicklung, Prüfung, richtigen Einsatz und Erkennen von Fehlerursachen von Schaltgeräten von praktischer Bedeutung sind. Einführung in die Physik elektrischer Kontakte: Kontaktwiderstand, Kontakterwärmung, Kontaktschweißen, Kontaktabbrand, Kontaktzuverlässigkeit. Kontaktwerkstoffwahl im Hinblick auf Schalterkonstruktion, Schaltaufgaben und Umweltbedingungen. Der Lichtbogen als Schaltelement im Vergleich zum Halbleiter. Grundlagen der Plasmaphysik. Schaltmedien (Luft, Öl, SF<sub>6</sub>, Vakuum). Physikalische Grundlagen der Lichtbogenlöschverfahren und synthetischer Prüfverfahren.

**Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens**

**Rieder, W.**  
1 VO

Ausbildung zu selbständigem technisch-wissenschaftlichen Denken und Arbeiten bei der Durchführung von Diplomarbeiten, Dissertationen, Forschungsprojekten und anspruchsvolleren Ingenieur-Aufgaben in der Industrie. Erkenntnistheoretische Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens. Problemanalyse, Projektplanung und Durchführung. Mündliche und schriftliche Präsentation technisch- wissenschaftlicher Ergebnisse.

**Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens**

**Rieder, W.**  
1 UE

Praktische Anwendung des in der Vorlesung "Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens" vermittelten Wissens. Vorbereitung auf Durchführung und Präsentation von Diplomarbeiten, Dissertationen, Forschungsprojekten und anspruchsvolleren Ingenieuraufgaben. Praktisches Definieren und Erstellen von Begriffssystemen. Diskussion von Diplomarbeiten-Entwürfen hinsichtlich ihrer Struktur und Präsentation.

**Stationäre Analyseverfahren f. el.  
Energienetze**

**Theil, G.**  
1,5 VO

Mathematische Methoden für die Lösung spärlich besetzter linearer Gleichungssysteme, für die Inversion spärlicher Matrizen und für die Lösung von Differentialgleichungssystemen werden behandelt. Danach werden Algorithmen zur Lösung der nichtlinearen Lastflußgleichungen beschrieben (Lastflußrechnung). Nach einem Überblick über Ausfallsimulationsrechnung wird näher auf Estimationstheorie und Lastflußoptimierung eingegangen. Sodann wird ein kurzer Überblick über die grundlegenden Methoden der Kurzschluß- und Stabilitätsrechnung gegeben. Den Abschluß bilden Verfahren zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen für die Verteilung elektrischer Energie. Die Anwendung der wichtigsten hier beschriebenen Methoden wird mit Hilfe von Rechnerprogrammen demonstriert.

**Zuverlässigkeit und Statistik i.d. ET**

**Theil, G.**  
1,5 VO

Einleitend werden grundlegende statistische Methoden zur Zuverlässigkeitsabschätzung, wie beispielsweise Abschätzung von Dichtefunktionen für Zuverlässigkeitskenngrößen, Kombination der Zuverlässigkeiten von Komponenten zu Zuverlässigkeitsindizes von Systemen, Markov-Prozesse usw., behandelt. Anschließend werden Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit von Blockkraftwerkssystemen mit Berücksichtigung der Aushilfe durch ein benachbartes Kraftwerkssystem angegeben. Ein weiteres Kapitel behandelt die Abschätzung der rotierenden Reserve und der optimalen Ausbauplanung von Kraftwerkssystemen. Zuletzt werden Verfahren zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Netzkomponenten und von Netzsystemen unter Berücksichtigung der Belastbarkeit der Komponenten besprochen. Die Verfahren werden durch einfache Beispiele, teilweise aber auch anhand von komplexeren Untersuchungen an realen Systemen, praktisch erläutert.

**Berechnung von Erd- u. Kurzschlüssen  
in Hochspannungsnetzen**

**Theil, G.**  
1,5 VO

Überblick über Netzberechnungsmethoden, effiziente Lösungsmethoden für die Kurzschlußberechnung, Modellierung der elektrischen Betriebsmittel in Phasenkomponenten und in den symmetrischen Komponenten, Modellierung symmetrischer und unsymmetrischer Fehler, Netzreduktion für die Kurzschlußberechnung, Beispiele: Einfluß von Querelementen, Einfluß des Nullimpedanzverhältnisses, der Erdschlußkompensation, Auswirkung der Resonanzabstimmung bei unsymmetrischen Netzelementen, Beispiele für unsymmetrische Fehlerarten, Doppelerdschluß.

**Freifächer**

**Exkursionen zu Anlagen und Betrieben  
der elektrischen Energietechnik**

**Eltschka, R.**  
2 EX



### **3. Diplomarbeiten** (2000 abgeschlossen)

FISCHER, Stefan: Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme eines 50 kA Stoßstromgenerators.  
(Betreuer: HADRIAN)

PISTAUER, Andreas: Analyse des Blitzschutzes ausgewählter Hochspannungsfreileitungen unter Einbeziehung des österreichischen Blitzortungssystems ALDIS.  
(Betreuer: HADRIAN)

BACHMAYER, Thomas: Durch Blitzenladungen induzierte Spannungen auf Freileitungen.  
(Betreuer: HADRIAN)

HIMMEL, Martin: Elektrostatische Entladung (ESD) – Messtechnik, ESD-Modelle und Vorschriften.  
(Betreuer: HADRIAN)

HARRER, Werner: Simulation eines Stoßstromgenerators mit PSPICE.  
(Betreuer: HADRIAN)

ENGLEDER, Stefan: Erkennung von Stromwandlersättigung für die digitale Schutztechnik.  
(Betreuer: MÜLLER/PAIRITS, VA Tech ELIN GmbH)

PIRACHER, Markus: Analysen zur Modellbildung für die Strompreisprognose.  
(Betreuer: MÜLLER/REINISCH, Siemens AG Österreich)

HIERMANN, Gunter: Modell zur Analyse des wettbewerbsorientierten Strommarktes und Abschätzung des Spotpreises.  
(Betreuer: MÜLLER/SEISER, REITGRUBER, Integriertes Ressourcen Management (IRM) GmbH)

SCHÜTZENHOFER, Thomas: Untersuchungen für großkundenorientierte Energievertragsangebote durch Energieversorgungsunternehmen.  
(Betreuer: MÜLLER/BAYRLEITHNER, Siemens AG Österreich)

PUTZ, Richard: Tageseinsatzoptimierung in einem dezentralen, elektrisch-thermischen Querverbundsystem unter Bewertung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.  
(Betreuer: MÜLLER/RUDOLF, Siemens AG Österreich)

GRADER, Manfred: Lichtbogenlängung zwischen asymmetrischen Laufschienen.  
(Betreuer: RIEDER/BERGER K.)

#### **4. Dissertationen** (2000 abgeschlossen)

**ZAPREVA, Susanna: Transit- und Engpassmanagement in elektrischen Übertragungsnetzen.** Dissertation an der Technischen Universität Wien, Juli 2000.

Begutachter: o.Prof. Dr.Ing. G. Brauner

o.Prof. Dr.Ing.habil. G. Herold (Friedrich-Alexander Univ. Nürnberg-Erlangen)

Die Ausweitung des europäischen Verbundsystems einerseits und die Liberalisierung der Elektrizitätswirtschaft andererseits führen zu Änderungen in der Struktur der Versorgung mit elektrischer Energie und steigern die Komplexität des Verbundbetriebs. Diese Entwicklungen können zur Abkehr vom Prinzip der verbrauchernahen Erzeugung und damit zur Entstehung weiträumiger Transite führen, wodurch die Netze soweit ausgelastet werden, dass der stabile Betrieb erschwert wird.

In dieser Arbeit werden Algorithmen vorgestellt, welche der Organisation ETSO (Association of European Transmission System Operators), einem Netzbetreiber (Transmission System Operator, TSO), einer Elektrizitäts-Control-Kommission oder dem sogenannten Independent System Operator (ISO), gestatten, Entscheidungen über die Zulässigkeit von Transiten in elektrischen Übertragungsnetzen zu treffen, ohne den sicheren Netzbetrieb zu gefährden.

Anhand relevanter Bestimmungskriterien, wie der thermischen Belastbarkeit von Betriebsmitteln, Einhaltung der Spannungsbänder, Spannungsstabilität sowie Winkelstabilität wurde die Bestimmung der verfügbaren Transitzkapazität (Available Transfer Capability, ATC) in elektrischen Übertragungsnetzen auch in der Nähe der Netzstabilitätsgrenze ermöglicht. Dazu wurden Indizes ermittelt, die es erlauben, Netzteile die zur Instabilität neigen und damit Engpässe verursachen, rechtzeitig zu erkennen und Vorschläge über einzuleitende Maßnahmen zu ihrer Vermeidung liefern.

In weiterer Folge wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsmittel wie FACTS, Kompensationseinrichtungen, aber auch Einflüsse der Transformatorregelung oder der Spannungsabhängigkeit der Lasten auf die Transitzkapazität vorgestellt. Ihr Einsatz zur Erhöhung der Transitzkapazität sowie zur Gewährleistung eines optimalen Netzbetriebs bei bestehenden Engpässen wurde präsentiert.

Mit Hilfe eines Algorithmus zur Optimierung des Engpassnetzbetriebs und zum Durchleitungsmanagement wurden Möglichkeiten zur Individualisierung von Grund- und Systemdienstleistungen unter bestimmten rechtlichen Rahmenbedingungen vorgestellt.

Anhand eines realen Übertragungsnetzes, in dem unterschiedliche Möglichkeiten zur Transitzkapazitätssteuerung implementiert sind, wurde die Anwendung der vorgestellten Verfahren demonstriert. Hierbei wird auch die Geschwindigkeit und die numerische Effizienz des in C++ programmtechnisch umgesetzten Algorithmus, sowie eine anschauliche Ergebnisdarstellung präsentiert, welche ein schnelles und wirtschaftlich effizientes Handeln bei Genehmigungen von Durchleitungen ermöglicht.

**MAIR, Martin: Elektromagnetisches Fernfeld der Blitzentladung in Zusammenhang mit der Blitzortung.** Dissertation an der Technischen Universität Wien, 2000.

Begutachter: Ao.Prof. Dr. W. HADRIAN

Ao.Prof. Dr. S. PACK (Technische Universität Graz)

Die Dissertation befaßt sich mit folgenden Themenschwerpunkten:

1. Ermittlung und Verbesserung der Ortungsgenauigkeit, Berechnung der Detection Efficiency.
2. Überprüfung der verschiedenen Modelle, die zur indirekten Ermittlung der Blitzstromamplitude aus dem abgestrahlten elektromagnetischen Feld verwendet werden.

Die gemessene Amplitude des Ortungssignales (die magnetische und elektrische Komponente der vom Blitzkanal ausgehenden elektromagnetischen Welle) hat entscheidenden Einfluß auf die Genauigkeit der ermittelten Blitzstromamplitude. Die Dämpfung der Felder im Zuge der räumlichen Ausbreitung wird ausführlich untersucht. Der interessierende Frequenzbereich liegt zwischen 1 kHz und einigen 100 kHz. Bis 300 km Entfernung zwischen Einschlagpunkt und Sensor muß nur die Bodenwelle betrachtet werden. Die verschiedenen Dämpfungsmodelle werden einer kritischen Beurteilung unterzogen. Die Dämpfungseffekte werden mit Hilfe der Daten des Blitzortungssystems ALDIS untersucht und für die acht Direction Finders werden Dämpfungsfaktoren über geographische Teilbereiche von 10 km x 10 km ermittelt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit war die Messung des elektrischen Fernfeldes von Blitzentladungen. Ein Grundproblem der Blitzortung ist die Identifikation von registrierten Feldimpulsen, d.h. die Zuordnung zu einem Wolke-Erde-Blitz. Beim vorliegenden Ortungssystem muß der zeitliche Verlauf des Feldimpulses sechs Bedingungen erfüllen, um als Signal eines Wolke-Erde-Blitzes akzeptiert zu werden. Diese Bedingungen wurden aus Messungen in Florida abgeleitet. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgten umfangreiche, vergleichende Messungen mit identischen Feldsonden in Florida (Camp Blanding) und Österreich. Der Aufbau der verwendeten, kapazitiven Feldsonden und deren meßtechnischen Eigenschaften (Triggerung, Bandbreite, Empfindlichkeit usw.) werden ausführlich beschrieben. Mit Hilfe dieser erstmalig verfügbaren Vergleichsdaten konnten Unterschiede zwischen den Parametern in Österreich und Florida festgestellt werden. Eine Dokumentation und statistische Auswertung der gemessenen Feldverläufe runden die Arbeit ab.

**ZELLER, Peter: Experimentelle Untersuchung von Bewegung und Form magnetisch geblasener Lichtbögen unter besonderer Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse in engen, länglichen Kammern.** Dissertation an der Technischen Universität Wien, 2000.

Begutachter: Em.o.Prof. Dr. W. RIEDER

Ao.Prof. Dr. W. HADRIAN

Zur Begrenzung des Kurzschlußstromes wird in einem Niederspannungs-Leitungsschutzschalter der Lichtbogen mittels magnetischer Blasung in eine Löschkammer bewegt. Die Geschwindigkeit des Lichtbogens beeinflusst unmittelbar die Wirksamkeit der Strombegrenzung. Bei Schaltgeräten mit Magnetblasprinzip (z.B. beim Niederspannungs-Leitungsschutzschalter) ist der Einfluß von Kammer-Parametern auf die Lichtbogenbewegung von großem Interesse für den Konstrukteur.

Unmittelbar nach dem Ziehen des Schaltlichtbogens wird dessen Bewegung im realen Schaltgerät hauptsächlich durch angeschmolzene Elektroden und/oder durch die spezielle Kontaktgeometrie beeinflusst. Nach dieser Phase der Lichtbogenbewegung bestimmen auch die Strömungsvorgänge im Schaltgerät den Verlauf der Bewegung. Die Entstehung von Druckwellen durch den Lichtbogen, die Ausbreitung von Druckwellen in der Lichtbogenkammer und die Wechselwirkung einer Druckwelle mit dem Lichtbogen sind als die drei wesentlichsten Detailvorgänge bei der Beeinflussung der Lichtbogenbewegung durch die Strömung zu nennen.

Die Berechnung der Phase der strömungsdominierten Bewegung wäre ein wesentliches Hilfsmittel für den Schalterkonstrukteur zur Abschätzung des Einflusses der Strömungsvorgänge. Veröffentlichte Berechnungsgrundlagen waren in mehrerer Hinsicht nicht unmittelbar für den Konstrukteur von Schaltkammern anwendbar. Existierende Tools für die Simulation erforderten entweder einen zu hohen Rechenaufwand oder es waren zu stark vereinfachende Annahmen zu Grunde gelegt.

Um hinsichtlich Rechenaufwand und Genauigkeit optimierte Simulationsgrundlagen zu schaffen, sollte die Lichtbogenbewegung in einer sehr einfachen Kammeranordnung untersucht werden (parallele Elektroden zwischen seitlich dicht anliegenden Wänden mit oder ohne Abschluß durch eine Strömungsdrossel). Die theoretische Arbeit wurde im Rahmen einer parallel laufenden Dissertation durchgeführt. Die dafür notwendige und in dieser Dissertation dokumentierte experimentelle Arbeit hatte folgende Ziele:

- I. die mit den einfachen theoretischen Modellen gewonnenen Ergebnisse zu überprüfen und allenfalls mögliche Ursachen für Abweichungen aufzuzeigen und
- II. zusätzliche Informationen zur Verbesserung oder Neuentwicklung von Modellen zu erbringen.

Es zeigte sich, daß die Aufteilung des gesamten Schaltkammerbereiches in zwei hinsichtlich der Gaseigenschaften (Stoffwerte) unterschiedliche Bereiche, den „Kaltgasbereich“ und den „Lichtbogenbereich“, bei vergleichsweise geringem Rechenaufwand gute Übereinstimmung mit den Experimenten bringt. Die Strömung wurde dabei als eindimensional und instationär, der Lichtbogen als gerade Säule modelliert. Die durch reflektierte Druckwellen unbeeinflusste Bewegung des Lichtbogens kann qualitativ sowohl mit dem bekannten Kolben- als auch mit einem erweiterten Kolbenmodell, dem Slug-Modell, sehr gut beschrieben werden. Die Modellierung des Lichtbogens als seitlich dichter Kolben (Kolbenmodell) liefert eine quantitativ zu

geringe Geschwindigkeit während eine Berücksichtigung der seitlichen Spalten zwischen Lichtbogen und Seitenwand (undichter Kolben: Slug-Modell) zu einer quantitativen Übereinstimmung führt.

Die Gesamtbewegung des magnetisch geblasenen Lichtbogens zwischen parallelen Elektroden und seitlich dicht anliegenden Wänden kann durch instationäre eindimensionale Modellierung der Strömung in Kombination mit dem Slug-Modell bei Werten der Verdämmung von 0 bis 100 % sehr gut vorhergesagt werden. Allerdings könnte durch die in speziellen Fällen unmittelbar nach der Lichtbogenzündung angeschmolzenen Elektroden die Lichtbogenbewegung verzögert werden, was zu einer Abweichung der gemessenen von der berechneten Lichtbogenbewegung führt.

Die Annahme einer geraden Lichtbogensäule vereinfachte zwar die Berechnung der Lichtbogenbewegung, jedoch wich im Experiment mit zunehmendem Elektrodenabstand die Lichtbogenform von der geraden Säulenform ab. Es waren vermehrt Plasmanasen zu beobachten, welche Fußpunktneubildung und Kommutationsvorgänge initiieren konnten. Abschätzungen der jeweils lokal auf den Lichtbogen wirkenden elektrodynamischen Kräfte zeigen, daß diese sowohl für die spezielle Lichtbogenform mit Plasmanase als auch für die bei auftretenden Kommutationsvorgängen speziellen Bewegungsereignisse verantwortlich sind. Bei Fremdfeld-Beblasung führt bei kleinem Elektrodenabstand die symmetrische Einspeisung zwar zur Kompensation der Wirkung der Kräfte zufolge Stromzufuhr jedoch mit zunehmendem Elektrodenabstand zu speziellen Detailprozessen bei der Lichtbogenbewegung und Ausbildung der Lichtbogenform. Zum Vergleich zeigen sich bei Eigenfeld-Beblasung und großen Elektrodenabständen gegen die Bewegungsrichtung durchgebogene Lichtbogensäulen, die wahrscheinlich auf die spezielle Magnetfeldverteilung mit einem Minimum in der Mitte zwischen den Elektroden zurückzuführen sind.

Bei der Ausbreitung von Druckstößen in einer Aufweitung treten Querwellen in Erscheinung. Es wäre daher bei einem Übergang der Rechnung von parallelen zu divergierenden Elektroden zu klären, ob zweidimensionale Strömungsvorgänge vernachlässigt werden können.

Bei divergierenden Elektroden und seitlich dicht anliegenden Wänden kann die Lichtbogenform (und –Bewegung) offensichtlich durch die Präsenz von Plasmastrahlen erheblich beeinflusst werden. Die Existenz von Plasmastrahlen würde eine geeignete Modellierung erfordern. Eine Unterteilung der Lichtbogensäule in einzelne gerade Stücke und eine Modellierung dieser Einzelsegmente als Kolben oder Slug könnte für einen auf Experimente gestützten Parameterbereich akzeptable Rechenergebnisse liefern, würde aber bei einer Extrapolation nicht vorhersehbare Abweichungen von der realen Lichtbogenbewegung bringen.

Seitlich nicht dichte Kammern zeigen einen erheblichen Einfluß auf die Lichtbogenform sowohl bei parallelen als auch bei divergierenden Laufschiene. Bei parallelen Laufschiene wird der Einflußbereich der Plasmanasen geringer, bei divergierenden Elektroden treten die bei seitlich dicht anliegenden Wänden beobachteten Plasmastrahlen nicht mehr auf. Die Frage ist, bei welcher Spaltweite zwischen Elektrode und Seitenwand der Übergang von einer Erscheinungsform des Lichtbogens zu anderen stattfindet. Die im realen Schaltgerät seitlich nicht dichte Passung zwischen den Elektroden und Wänden legt nahe, als nächsten Schritt zum Übergang auf reale Kammeranordnungen seitlich nicht dichte Anordnungen zu untersuchen.

**ANDRE, Gerald: Computation of the motion of magnetically driven electric arcs in simplified arc chambers.** Dissertation an der Technischen Universität Wien, 2000.

Begutachter: Em.o.Prof. Dr. W. RIEDER

o.Prof. Dr. W. Schneider, Inst. f. Strömungslehre und Wärmeübertragung

Viele Niederspannungsleistungsschaltgeräte wie Schütze, Leitungsschutzschalter (insbesondere Sicherungsautomaten) sind mit magnetisch beblasenen Löschkammern ausgestattet. Die Lichtbogenkammer besteht aus Kontakten, Lichtbogenlaufschienen und Löschblechen. Während des Schaltvorgangs wird der Lichtbogen durch ein transversal wirkendes Magnetfeld von den Kontaktstücken, wo der Lichtbogen gezogen wurde, über divergente Laufschienen in die Löschbleche getrieben, durch die er in mehrere kurze Lichtbögen aufgeteilt wird. Die Laufphase, während der sich der Lichtbogen entlang den Laufschienen bewegt, wurde häufig an Modellschaltern mit vereinfachter Schaltergeometrie, bestehend aus parallelen Laufschienen und elektrisch isolierenden Seitenwänden, experimentell untersucht. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der theoretischen Beschreibung der Lichtbogenbewegung in Lichtbogenkammern einfacher Geometrie, insbesondere mit möglichst einfachen Modellen, die die Lichtbogenbewegung mit ausreichender Genauigkeit wiedergeben, ohne überflüssige Details zu berücksichtigen.

Die instationäre Luftströmung in der Lichtbogenkammer wird in eindimensionale Näherung behandelt (Wellenausbreitungsmodell). Der Lichtbogen wird zunächst durch ein modifiziertes Kolbenmodell dargestellt (Lichtbogenmodell). Vergleiche von berechneten und gemessenen Wellenausbreitungsvorgänge sowie Reflexionen an Löschblechen zeigen, daß die Strömung in quantitativer Übereinstimmung mit Experimenten durch die eindimensionale Näherung beschrieben werden kann. In Verbindung mit dem Kolbenmodell können die Wechselwirkung des Lichtbogens mit einem Verdichtungsstoß, die Bewegung des magnetisch beblasenen Lichtbogens und die Druckverteilung in der Lichtbogenkammer qualitativ beschrieben werden. Es zeigt sich, daß der Lichtbogen die Strömung im "Kaltgasbereich" stark beeinflusst. Abweichungen zwischen Experiment und Rechnung bezüglich der Lichtbogenbewegung und Druckverteilung können durch mehrdimensionale Wellenausbreitungsvorgänge, nicht berücksichtigt im eindimensionalen Wellenausbreitungsmodell, und durch Wärmeverluste des Lichtbogens, verursacht durch eine Umströmung des Lichtbogens, aber nicht berücksichtigt im Kolbenmodell, und durch Elektrodeneffekte, wie geringe Beweglichkeit der Fußpunkte, verursacht werden. Ein verbessertes Lichtbogenmodell war daher notwendig, um quantitative Übereinstimmung zu erreichen.

Basierend auf den Materialeigenschaften von Luft wird das Lichtbogenmodell erweitert. Als Folge der hohen Lichtbogentemperatur ist die Dichte im Lichtbogen sehr klein, die Viskosität hingegen sehr hoch, bezogen auf die Eigenschaften der Luft außerhalb des Lichtbogens. Die Größe des Lichtbogens wird über die Energiebilanz, welche Joule'sche Wärme und Wärmetransport berücksichtigt, ermittelt. Rechenergebnisse werden mit entsprechenden Meßergebnissen verglichen. Das verbesserte Lichtbogenmodell (Slug-Modell) erlaubt die näherungsweise Berechnung der zwischen Seitenwänden und Lichtbogen vorbeiströmenden Luft und der Erwärmung der vorbeiströmenden Luft durch den Lichtbogen. In Verbindung mit dem Wellenausbreitungsmodell kann mit geringem Rechenaufwand die Lichtbogenbewegung in einfachen langen Lichtbogenkammern in quantitativer Übereinstimmung mit Experimenten berechnet werden.

Die mathematische Beschreibung der Kaltluftströmung kann unter der Annahme quasistatischer Kompression im Bereich zwischen Lichtbogen und Löschblechen weiter vereinfacht werden. In Verbindung mit einem geeigneten Lichtbogenmodell kann damit die Lichtbogenbewegung berechnet werden. Die quasistatische Modellierung ist nur für Lichtbogengeschwindigkeiten geeignet, die klein sind gegenüber der Schallgeschwindigkeit, aber groß genug, um kein Aufschmelzen der Elektrodenoberfläche zu verursachen. Insbesondere kann die Geschwindigkeit, mit der sich der Lichtbogen den Löschblechen nähert, mit sehr geringem Aufwand, aber in ausreichender Übereinstimmung mit Experimenten, berechnet werden.

Ergebnisse der oben angeführten Modelle werden mit numerischen Lösungen der Navier-Stokes-Gleichungen verglichen. Ein instationäres zweidimensionales numerisches Modell wurde erstellt, um die laminare Strömung und den Wärmetransport in vereinfachten Lichtbogenkammern zu untersuchen. Die Materialeigenschaften, die theoretisch unter der Annahme lokalen thermodynamischen Gleichgewichts ermittelt wurden, sind der Literatur entnommen. Strahlungsverluste werden unter der Annahme, daß der Lichtbogen optisch dünn sei, berücksichtigt. Berechnungen werden in zwei Ebenen parallel und normal zu den Elektrodenoberflächen durchgeführt, um die Strömung um den Lichtbogen und die Ausbildung von "Lichtboggennasen" zu untersuchen.

Rechnungen in der Ebene parallel zu den Elektrodenoberflächen für relativ niedrige elektrische Ströme (ca. 350 A) in 100 mm langen Lichtbogenkammern werden mit Experimenten verglichen. Die Übereinstimmung bezüglich Lichtbogenbewegung und Lichtbogenbreite ist gut. Der Einfluß des Seitenwandabstands auf die Ausbildung eines Bereiches heißer Luft mit einer Temperatur von etwa 3000 K hinter bzw. vor dem Lichtbogen wird richtig bestimmt. Berechnungen von 2 kA Lichtbogen in sehr langen Lichtbogenkammern (800 mm) zeigen, daß die quasistationäre Lichtbogenbewegung gut berechnet werden kann und die erhaltene Strömungsform mit den Annahmen, die bei der Herleitung des Slugmodells getroffen wurden, übereinstimmt. Rechnungen in der Ebene normal zu den Elektrodenoberflächen zeigen die Ausbildung einer "Lichtboggennase" in der Nähe der Elektroden, wie in Experimenten beobachtet. Aufgrund der erheblichen Vereinfachungen bei der Berechnung kann aber nur eine qualitative Übereinstimmung bezüglich der Details der Lichtbogenform erreicht werden. Die Lichtbogenbewegung als ganzes kann gut wieder gegeben werden. Auch der Einfluß von Druckwellen, die durch die Lichtbogenbewegung und durch die Expansion des Lichtbogenplasmas nach dem Zünden hervorgerufen werden, kann richtig wiedergegeben werden.

## 5. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

### **Versorgungsqualität der Elektrizitätsversorgung – Power Quality Monitoring**

M. BERGER

Infolge der Deregulierung des Elektrizitätsmarktes kommt es zu einem steigenden Kostendruck für Elektrizitätsunternehmen. Durch das „Unbundling“ erfolgt bei den Elektrizitätsunternehmen die operative Trennung der Geschäftsbereiche in Erzeugung (und Stromhandel), Übertragung und Verteilung. Netze mit einer Nennspannung von 110kV und darüber bilden das Übertragungsnetz, die restlichen Netze das Verteilnetz. Da das Betreiben mehrerer Netze nebeneinander ökonomisch wie auch ökologisch nicht sinnvoll ist, stellen die Netze ein natürliches Monopol dar. Die Finanzierung des Netzbetriebes erfolgt dabei ausschließlich durch die Netznutzungsentgelte.

Diese Entgelte sind in den Systemnutzungstarifen festgelegt und kostenorientiert durch die Regulierungsbehörde zu bestimmen. Die festzulegenden Tarife sollen dem Grundsatz der Kostenwahrheit entsprechen und sich am Einsparungspotential der Unternehmen orientieren.

Einsparungspotentiale ergeben sich für den Netzbetreiber vor allem in den Bereichen Wartung, Instandhaltung, Investition und Personal. Durch die Ausnutzung der Einsparungspotentiale darf es jedoch zu keiner merklichen Verschlechterung der Versorgungszuverlässigkeit und –qualität kommen.

Netzbetreiber sind daher angehalten, ihre Netze mit einem hohen Grad an Effizienz zu betreiben. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist, die Qualität und Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung aufzuzeichnen und dokumentieren. Dies kann durch den gezielten Einsatz eines flächendeckenden „Power Quality Monitoring“-Systems erfolgen. Die wichtigsten zu messenden Qualitätsmerkmale der Versorgungsspannung sind:

- Frequenz
- Langsame, bzw. schnelle Spannungsänderungen
- Flicker
- Spannungseinbrüche (Voltage Dips)
- Kurze, bzw. lange Versorgungsunterbrechungen
- Netzfrequente, bzw. transiente Überspannungen
- Spannungsunsymmetrie
- Oberschwingungsspannung
- Zwischenharmonische Spannung

Power Quality Monitoring (PQM)-Geräte sind vorwiegend in der Mittelspannungsebene, aber auch an exponierten Stellen der Hoch- und Niederspannungsebene anzubringen. In der Hochspannungs- und an wichtigen Knoten der Mittelspannungsebene sind PQM-Geräte anzubringen, welche alle Qualitätsmerkmale der Elektrizitätsversorgung erfassen. Die Aufzeichnung erfolgt einerseits durch kontinuierliche Messung (z.B. 10min-Intervall), andererseits durch ereignisgetriggerte Messung. In der Niederspannungsebene können PQM-Geräte mit vermindertem Funktionsumfang eingesetzt werden.

Um Störungsausbreitungen analysieren zu können, sind die Aufzeichnungen mehrerer PQM-Geräte zu vergleichen. Dies erfordert die Synchronisation der Zeitaufzeichnung der PQM-Geräte mittels DCF77- oder GPS-Signal.

Die oben angegebenen Qualitätsmerkmale der Versorgungsspannung sind in der Europeanorm EN50160 definiert und Richtwerte dafür angegeben. In Städtischen Netzen mit hohem



Vermaschungsgrad kann die Versorgungsqualität um einiges höher, als in der Norm angegeben, sein. Andererseits ist diese Qualität in ländlichen Freileitungsnetzen mitunter zwangsläufig um einiges schlechter.

Um einen ersten Überblick über die Versorgungsqualität im Städtetz zu erhalten, wurde an einem Niederspannungs-Anschlusspunkt an der TU Wien vom 15.07 bis 16.08.2000 eine Messung mit dem PQM-Gerät Topas 1000 von LEM durchgeführt. Da das Auftreten qualitätsmindernder Merkmale saisonalen Schwankungen unterliegt, ist dieses Ergebnis nur als grober Überblick zu betrachten. Das Anführen des gesamten Messberichts würde den Rahmen dieses Kurzberichts sprengen, weshalb nur die wichtigsten Teile davon angeführt werden:

- Spannungseinbrüche (Abbildung 1a,b): 20
- Versorgungsunterbrechungen (kurz, lang): keine
- Netzfrequente Überspannungen: keine
- Flicker (95%-Wert:  $P_{st}$ ): 0,62
- $THD_U$  (95%-Wert): 3,7%
- Spannungsunsymmetrie (95%-Wert): 0,17%

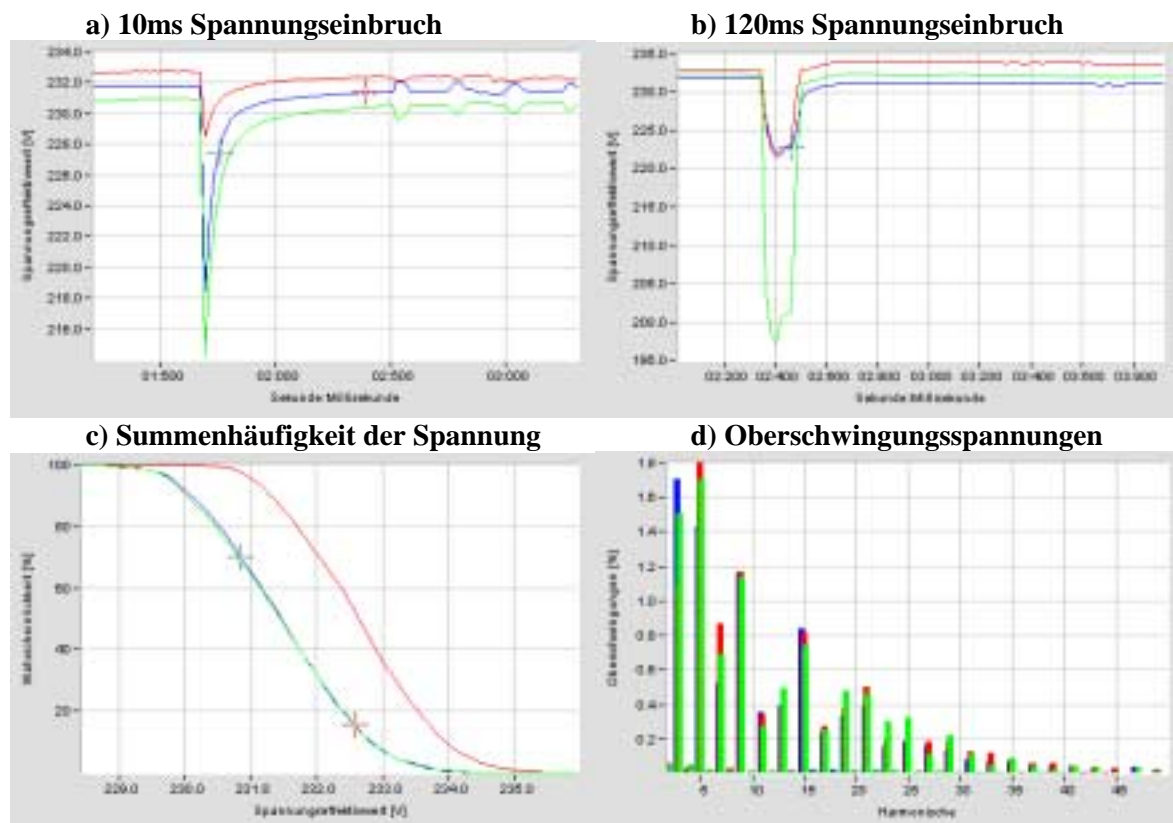


Abbildung 1: Diagramme des Messberichts

Bis auf einen Spannungseinbruch (131V, 60ms) liegen alle Spannungsereignisse innerhalb des von der CBEMA-Grenzkurve tolerierten Bereichs. Ansonsten weist der betrachtete Anschlusspunkt im betrachteten Zeitraum einen hohen Grad an Versorgungszuverlässigkeit auf.

#### Literatur:

- [1] CENELEC EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen

## **Magnetfeldgeräte der unteren Preisklasse als Hilfsmittel bei der Evaluierung von Arbeitsplätzen**

W. HADRIAN

Seitdem Meßgeräte der unteren Preisklasse (ab ca. ATS 450) in Elektrogeschäften und Baumärkten erhältlich sind, stellt sich für den Meßtechniker die Frage, welchen Aussagewert die Anzeigen solcher Geräte haben. Schon die Namen der Geräte signalisieren den Einsatzbereich: Elektrosmog-Tester, WaveFinder usw.

Die genaue Funktionsanalyse von fünf Feldmeßgeräten ergab, daß für das magnetische Feld Spulen als Meßwertaufnehmer eingesetzt werden. Das von der Spule gelieferte Signal wird verstärkt, bei den beiden Geräten EnviroMeter und ELV integriert, gleichgerichtet (z.B. Einweggleichrichtung) und danach der Anzeigeeinheit (Leuchtdioden, Zeigerinstrument, Digitalanzeige) zugeführt.

Es muß grundsätzlich zwischen zwei Gruppen von Geräten unterschieden werden und zwar Geräten ohne Frequenzverzerrung und mit Frequenzverzerrung.

a) Geräte ohne Frequenzverzerrung:

Durch die Verwendung von Spulen als Meßwertaufnehmer ist, entsprechend dem Induktionsgesetz, die Spulenspannung proportional der Ableitung des zeitlichen Verlaufes der zu messenden Induktion. Dies bedeutet, daß bei gleicher Feldstärke bei Vergrößerung der Frequenz die Anzeige proportional größer wird. Die Feldstärke (Induktion) erfährt somit bei höheren Frequenzen eine Überbewertung. Mit anderen Worten: die Anzeige ist frequenzabhängig! Nur bei rein sinusförmigem Verlauf des Feldes und bekannter Frequenz kann eine eindeutige Messung erfolgen. Die entsprechenden Kurven wurden gemessen.

Die Frequenzabhängigkeit der Anzeige führt besonders bei Messungen im Nahbereich von CRT-Monitoren zu äußerst problematischen Ergebnissen, da für den Bildaufbau ein zeitlich sägezahnförmiges Magnetfeld erzeugt wird. Die Anzeigen sind sehr stark von der Bildwechselfrequenz abhängig. Außerdem besteht eine extreme Lageempfindlichkeit des Meßgerätes gegenüber der Feldorientierung. Die Ursache dieser Lageempfindlichkeit ist die Differenzierung des zeitlichen Feldverlaufes und die nachfolgende Einweggleichrichtung. Eine seriöse Überprüfung der Einhaltung von MPR II und TCO-99 ist mit solchen Meßgeräten nicht möglich.

b) Geräte mit Frequenzverzerrung:

Die beiden Geräte EnviroMeter und ELV besitzen in einem breiten Frequenzbereich eine frequenzunabhängige Anzeige. Die Bandbreite des EnviroMeter ist so gewählt, daß sie der TCO-Richtlinie entspricht (Bd I). Dieses Gerät ist daher geeignet, bei der Überprüfung nach TCO-Richtlinien eingesetzt zu werden. Nur die Spulenfläche entspricht nicht der Richtlinie. Es zeigt sich jedoch, daß sich diese Abweichung nur minimal auswirkt. Der Preis dieses Gerätes liegt jedoch über ATS 10.000.-. Das ELV H-Feld-Meßgerät besitzt ebenfalls eine Frequenzkorrektur in Form einer Integratorstufe. Die Anzeige ist daher in einem großen Bereich frequenzunabhängig. Der Preis liegt deutlich unter ATS 1000.--. Dieses Meßgerät könnte durch eine geeignete Beschaltung, die eine Frequenzbewertung durchführt, als preiswerter Indikator für kritische Bereiche für Herzschrittmacher-Träger adaptiert werden. Dadurch würde man Herzschrittmacher-Träger einen Einstieg ins normale Leben erleichtern, da sie kritische Situationen beurteilen können.

Brauchbare d.h. mit kommerziellen Messgeräten vergleichbare Messergebnisse sind nur dann zu erwarten, wenn durch Integration des Meßsignals eine frequenzunabhängige Anzeige erfolgt. Differenzierende Meßgeräte bringen nur dann vergleichbare Ergebnisse, wenn zeitlich sinusförmige Feldverläufe vorliegen und die Frequenz bekannt ist.

Die vorliegende Untersuchung gestattet nun die meßtechnischen Anforderungen an Geräte zur Bestimmung von Feldstärken genau zu formulieren und angebotene Geräte auf ihre Tauglichkeit zu überprüfen.

### **Studie über den Einsatz von GPS in der Nähe von Nieder- und Hochspannungsfreileitungen zur Warnung von unzulässiger Annäherung und zur Erhöhung der Sicherheit bei Arbeiten in der Nähe von Freileitungen und Anlagen.**

W. HADRIAN

Beim unbeabsichtigten Berühren von spannungsführenden Leiterseilen durch LKWs, Fertigbetonpumpen, Kränen, Baumaschinen usw. ereignen sich immer wieder Unfälle mit schwerwiegenden Folgen.

Bei Arbeiten mit Hubarbeitsbühnen und automatisch schwenkbaren mobilen Arbeitsgeräten sowie stationären Schwenkkränen ist die Einhaltung der Sicherheitsregel für elektrische Anlagen (Abgrenzung zu spannungsführenden Teilen) nur bedingt bis kaum möglich. Meist erfolgt dies durch Beaufsichtigung durch einen zweiten Mann vom Boden aus. Bei diesen Arbeiten ereignen sich ebenfalls schwerwiegende Unfälle.

Um diese Unfälle zu vermeiden, wäre die Verfügbarkeit eines einfachen und zuverlässigen Warngerätes auf Basis von GPS von großem Wert und nach derzeitigen Wissensstand und nach Überprüfung der Genauigkeit durchaus vorstellbar.

Die Aufgaben eines solchen Warngerätes wären:

- a) das unzulässige Eindringen von leitenden Teilen von Arbeitsmaschinen und LKWs in den Schutzbereich von Freileitungen zu signalisieren;
- b) den Arbeitsbereich bei stationären Anlagen zu begrenzen und einen unzulässigen Schwenkbereich bei Hubarbeitsbühnen, schwenkbaren Arbeitsgeräten und stationären Kränen zu unterbinden (elektrischer Eingriff in die Antriebstechnik).

Derzeit ist kein Gerät bekannt, welches den gestellten Anforderungen genügt. Die letzte Studie über die Machbarkeit von Geräten auf Basis der Messung der elektrischen Feldstärke ergab unbefriedigende Ergebnisse. Außerdem ist ein Zusammenhang zwischen der elektrischen Feldstärke und der Entfernung zu einem spannungsführenden von der Spannungsebene abhängig.

Der Einsatz eines Warngerätes unter Verwendung von GPS könnte unabhängig von der Spannungsebene einen Alarm auslösen.

## Aufzeichnung von Stromverläufen bei direkten Blitzeinschlägen an der Blitzmessstation am Gaisberg bei Salzburg

M. MAIR

Das im Sommer 1998 begonnene Forschungsprojekt mit dem Titel „Direct measurement of lightning currents on a telecommunication tower“ (FWF Projektnummer 12977-TEC) wurde in diesem Jahr erfolgreich weitergeführt. Dieses Projekt ist gleichzeitig der Beitrag des Institutes für Elektrische Anlagen an der Arbeitsgemeinschaft „Österreichische Blitzforschungsstelle Gaisberg“, an der außerdem folgende Institutionen mit eigenen Forschungsprojekten beteiligt sind:

- Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Abteilung Blitzortungssystem ALDIS (ÖVE-ALDIS)
- Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H, Geschäftsfeld Erneuerbare Energie (ÖFPZ). Erste Ergebnisse wurden in [1] veröffentlicht.
- Telekom Austria

Nachfolgend werden einige Ergebnisse der diesjährigen Messungen vorgestellt.

### 1. Ergebnisse der Blitzstromaufzeichnungen

In der Hilfe der im Rahmen dieses Forschungsprojektes aufgebauten Messstation wurden seit Anfang August 1998 knapp 160 Einschläge registriert. Der größte Teil davon sind Aufzeichnungen des Jahres 2000, da die gewittermeteorologischen Verhältnisse in diesem Jahr wesentlich günstiger waren als in den beiden vorangegangenen Jahren. Überdies stand in diesem Jahr erstmals die gesamte Messausrüstung, die in [2] im Detail beschrieben ist, zur Verfügung.

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, wurde ein hoher Anteil der Entladungen während der Wintermonate Jänner bis April aufgezeichnet. Bis auf eine Ausnahme beginnen sämtliche Entladungen mit einem innerhalb von einigen 10 ms ansteigenden Langzeitstrom und können nach [3] als Aufwärtsentladungen identifiziert werden.

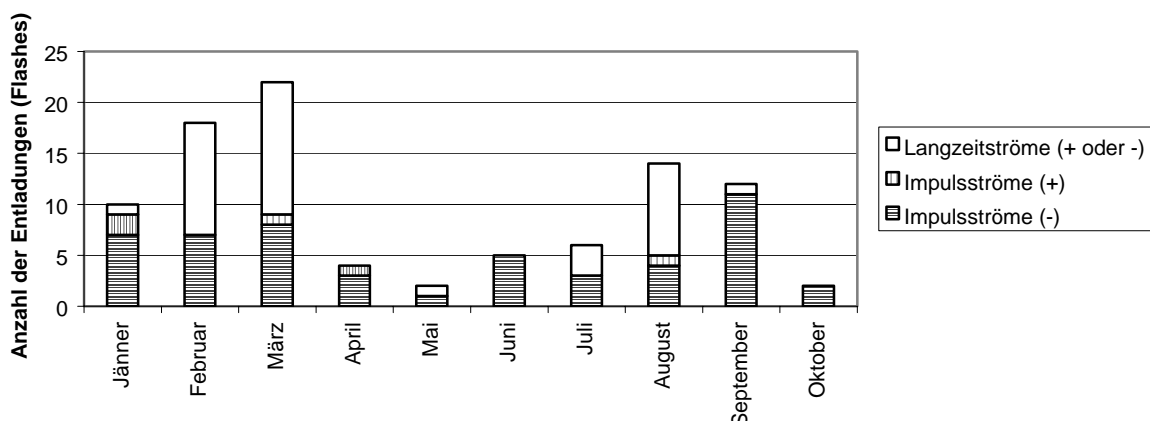


Abbildung 1: Übersicht über die Verteilung der Entladungen nach Form, Anzahl und Polarität.

Etwa 50% der Entladungen sind Gleichströme in der Größenordnung von einigen 100 A, über einen Zeitraum von bis zu 0,8 s ohne überlagerte Impulsströme. Bei den vergleichbaren Messungen am Peißenberg in Bayern [4] ist dieser Anteil noch höher, was jedoch mit der größeren Höhe des dortigen Messturmes (160 m) zusammenhängen kann. Bis auf vier Ausnahmen, ist die Polarität der aufgezeichneten Blitzentladungen negativ. Eine Blitzentladung zeigt sogar den sehr seltenen Fall unterschiedlicher Polarität der Teilblitzimpulse. Die Polarität wird dabei entsprechend der Polarität der Wolkenladung definiert [3].

In Tabelle 1 sind einige Charakteristiken der aufgezeichneten Entladungen zusammengefasst. Demzufolge liegt der Medianwert der Amplitude der aufgezeichneten Impulsströme negativer Polarität bei -5 kA und damit in derselben Größenordnung wie in [4]. Die Extremwerte der Stromamplituden betragen -35 kA bzw. +25 kA. Die maximale Anzahl von Teilblitzimpulsen beträgt für negative Blitzentladungen 26. Die registrierten positiven Blitzentladungen zeigen hingegen in keinem Fall mehr als einen Teilblitzimpuls.

Monat	Anzahl der Messtage	Registrierte Entladungen	Gesamtanzahl der Teilblitzimpulse	Medianwert negativer Teilblitzamplituden [kA]
Jänner	2	10	27	-7
Februar	5	19	75	-4,5
März	3	22	50	-6,2
April	1	4	20	-1,7
Mai	1	2	1	-0,5
Juni	2	5	21	-2,1
Juli	3	6	31	-5,0
August	4	14	39	-4,7
September	3	12	136	-6,0
Oktober	1	2	22	-2,7
2000	25	96	422	-5,0

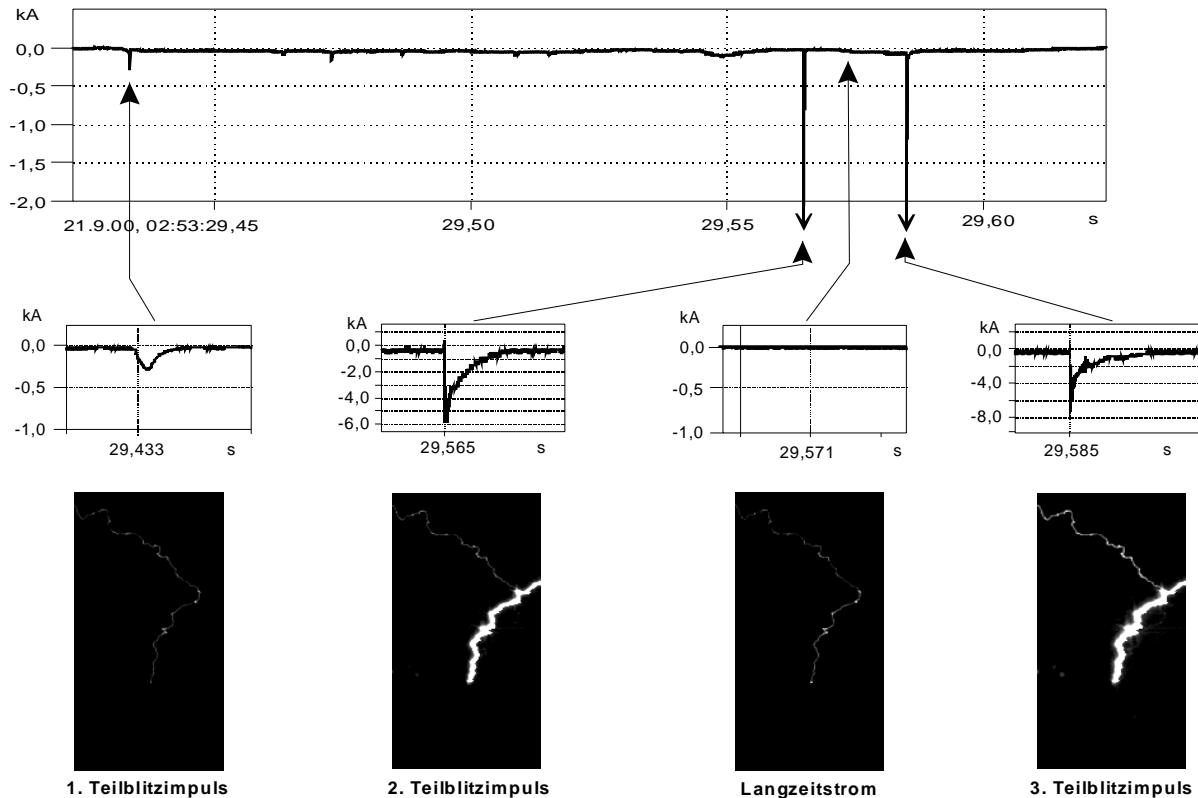
Tabelle 1: Übersicht über die im Zeitraum Jänner bis Oktober 2000 aufgezeichneten Blitzentladungen

## 2. Ergebnisse der Videoaufzeichnungen

In diesem Jahr konnten erstmals die zeitlichen Abläufe von insgesamt sechs Blitzentladungen mit der Hochgeschwindigkeitsvideokamera (500 Bilder pro Sekunde) aufgezeichnet werden. Im Vergleich zur Gesamtanzahl der registrierten Entladung ist dieser Anteil relativ gering, da in den meisten Fällen die Sicht durch dichten Nebel stark beeinträchtigt war.

In Abbildung 2 sind die Stromverläufe und die Bilder aus der Videokamera einer negativen Blitzentladung mit drei Teilblitzimpulsen dargestellt. Der Langzeitstrom mit einer Amplitude von etwa -50 A beginnt bereits etwa 10 ms vor dem ersten Stromimpuls und endet etwa 40 ms nach dem letzten Impulsstrom. Es handelt sich demzufolge um eine Aufwärtsentladung.

Interessant ist in diesem Fall die Verzweigung des Blitzkanals, wobei sowohl bis zum Auftreten des zweiten Teilblitzimpulses, als auch zwischen dem zweiten und dritten Teilblitzimpuls nur der linke Ast aktiv ist. Die stromstärkeren Teilblitzimpulse folgen einem eigenen Kanalzweig, der zwischen den beiden Impulsen wieder gänzlich erlischt.



### 3. Ausblick

Seit Beginn dieses Jahres werden neben der Strom- und Videoaufzeichnung auch die zeitlich rasch veränderlichen elektromagnetischen Felder im Nahbereich (200 m Entfernung), sowie das elektrostatische Gleichfeld aufgezeichnet. Diese Aufzeichnungen werden ergänzt durch die aktuellen meteorologischen Daten, die freundlicherweise vom Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung Umweltschutz zur Verfügung gestellt werden. Die Auswertung der Messdaten soll in den nächsten Monaten verstärkt im Rahmen von Diplomarbeiten bzw. Dissertationen erfolgen.

### 4. Literatur

- [1] Degner, T., Enders W.: Elektromagnetische Verträglichkeit und Sicherheitsdesign für photovoltaische Systeme – Ergebnisse aus dem Projekt ESDEPS. Tagungsband zum 15. Symposium „Photovoltaische Solarenergie“, Staffelstein 2000, Seite 32-39.
- [2] Diendorfer, G., Mair, M., Schulz, W., Hadrian, W.: Lightning current measurements in Austria – Experimental setup and first results. Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection, Rhodes 2000, Seite 44-47.
- [3] Berger, K.: Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963-1971. Bulletin SEV, 63 (1972), Seite 1403 - 1422.
- [4] Heidler, F., Zischank, W., Wiesinger, J.: Statistics of lightning current parameters and related nearby magnetic fields measured at the Peissenberg tower. Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection, Rhodes 2000, Seite 78 - 83.

## **Abgeschlossene Forschungsarbeiten zur rechnergestützten Systemtechnik und Energiemanagement im wettbewerbsorientierten Strommarkt (in Kooperation mit Unternehmen der Elektroindustrie und Elektrizitätswirtschaft)**

H. MÜLLER

Auf dem Gebiet der **Prognose** wurde im Rahmen des von der EU geförderten (Brite-Euram II) thematischen Netzwerkes "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems" bei einer einschlägigen Tagung über die Arbeiten zur **Preisvorhersage am Strommarkt** berichtet (siehe unter 9. Veröffentlichungen bzw. 10. Vorträge):

Die diesbezüglichen Untersuchungen zur möglichen Modellen für die rechnergestützte Abschätzung des zu erwartenden Strompreises am wettbewerbsorientierten Markt für elektrische Energie wurden in Kooperationen mit den Firmen Landis & Gyr Leit- und Fernwirktechnik, Siemens AG Österreich, PSE und IRM (Integriertes Ressourcen Management) GmbH durchgeführt (vgl. auch unter 3. Diplomarbeiten). Das Spektrum von modellierten Ansätzen umfaßte dabei

- für die mittelfristige (jährliche) Vorausschau ein Verfahren mit Kombination von Kohonen-Netzen zur Klassifizierung typischer Preisverläufe und neurale Mehrschichten-Perceptrons zur Abbildung der kausalen Abhängigkeit von Einflußgrößen, mit Fuzzy-Vorprozessor derselben.
- für die kurzfristige (Spot-)Preisprognose eine Konzeption, die als Kern ebenfalls künstliche neurale Netze zur Modellierung der Einflußgrößenabhängigkeiten beinhaltet, kombiniert mit einem rechnergestützt automatisierten Data Mining-Prozeß für die optimale Auswahl der signifikanten Input-Variablen mittels einem genetischen Algorithmus.
- die Spotpreisabschätzung über ein Marktmodell des wettbewerbsorientierten Strommarktes (mit Abbildung der Erzeugungsmöglichkeiten, der Vertragsgegebenheiten und Marktstrategien der Teilnehmer).

Aus dem Problembereich des **Energiemanagements** wurden in Kooperation mit Siemens AG Österreich, PSE, die Adaptionen an und Untersuchungen mit dem System DEMS (Dezentrales Energie Management System), welches auf Gemischt-Ganzzahliger-Linearer-Programmierung als Optimierungswerkzeug basiert fortgeführt (siehe unter 3. Diplomarbeiten und 9. Veröffentlichungen): mit verfeinerten Abbildungsmöglichkeiten an Vertragsstrukturen sowie bezüglich der Einsatzoptimierung erweiterten und detaillierteren Modellierungen von einbezogenen Erzeugungsmodule.

## **Simulation des Leistungsbedarfes für die Raumheizung von Wohnbauten**

F. RASCHBACHER

Im Rahmen dieses Projektes soll die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Heizsystemen für Ein- und Mehrfamilienhäuser beurteilt werden. Um allgemeine Wirtschaftlichkeitsaussagen machen zu können, ist es notwendig, die zeitlichen Verläufe der Heizleistung möglichst vieler Wohnhäuser und den Einfluss der wichtigsten Einflussfaktoren zu kennen.

### **Wettermodell**

In [1] werden neben der Außentemperatur auch die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit als wesentliche Einflussgrößen auf den Wärmebedarf genannt. Um für allgemeine Aussagen nicht an die tatsächlich aufgetretenen Wetterzeitreihen von Modelljahren gebunden zu sein, wurde ein detailliertes stochastischen Simulationsmodell (Wettergenerator) erstellt. Ein möglicher Ansatz für die Realisierung eines Wettergenerators verwendet tatsächlich aufgetretene stündlich gemessene Werte von jenen Monaten, deren Mittelwert einem vorgegeben gewünschten Wert möglichst nahe kommt [2]. Für längere Simulationen ergibt sich damit die Problematik, entsprechende Monatsmittel vorgeben zu müssen.

Im Gegensatz dazu wurden hier die stündlichen Wetterdaten als Zeitreihe direkt nachgebildet. Dieser Ansatz hat den Vorteil, nach einer dem Standort des betrachteten Hauses entsprechenden Parametrierung des Modells keine weiteren Daten mehr vorgeben zu müssen.

### **Heizleistungssimulation**

Von Seiten der Bauphysik gibt es einige qualitativ hochwertige Simulationsprogramme, die es erlauben, unter verschiedensten Randbedingungen die Heizleistung eines Hauses zu berechnen. Diese Programme benötigen Wetterdaten, die Abmessungen und Informationen über den Aufbau der Gebäudehülle des zu berechnenden Hauses für die Simulation.

In dieser Arbeit werden die Heizlastgänge von Gebäuden verschiedener Bauperioden und damit auch verschiedener Qualität der Gebäudehülle miteinander verglichen. Weitere auftretenden Unterscheidungsmerkmale, wie z. B. Anzahl der Fenster, Ausrichtung nach Süden, Niedrigenergiehaus, wurden nicht berücksichtigt. Da eine Simulation mit den o. g. Programmen eine detaillierte Angabe über Maße und Aufbau des untersuchten Gebäudes erfordert und diese Detailtiefe hier viel zu weit ginge, wurde mit dem Programmpaket MATLAB ein vereinfachtes Heizleistungssimulationsprogramm erstellt. Abbildung 2 stellt das elektrische Ersatzschaltbild des thermischen Problems dar.



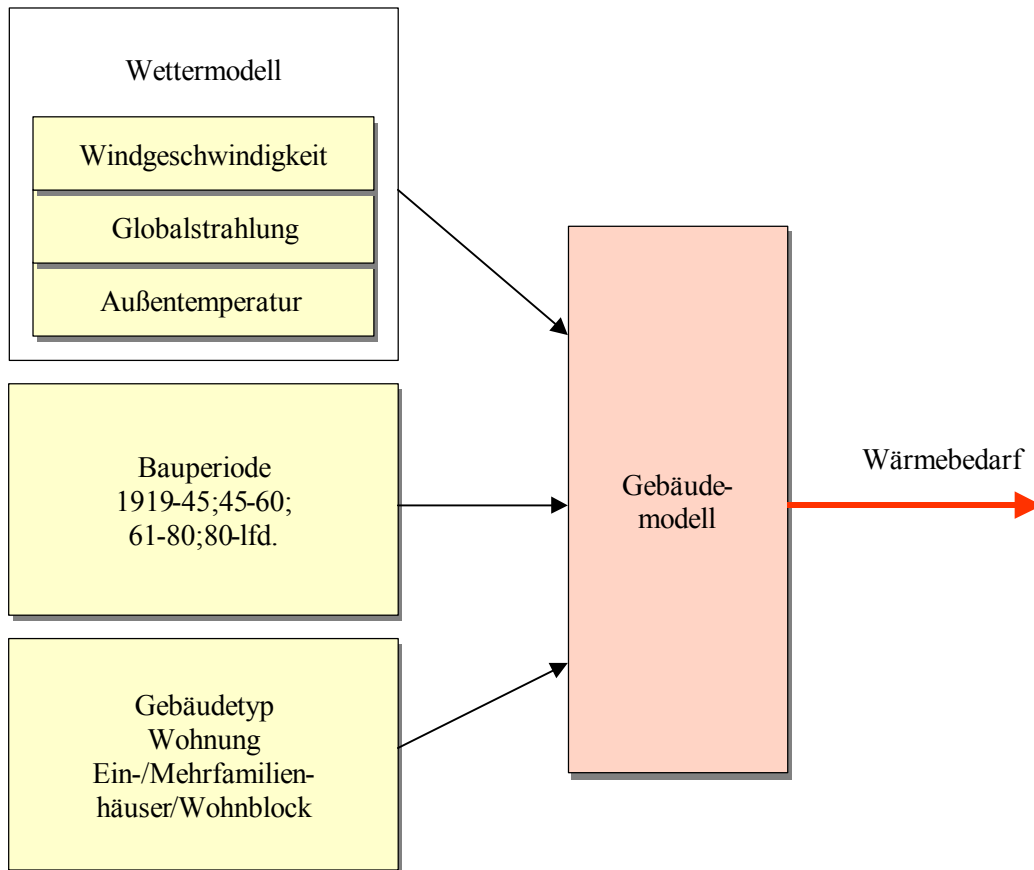


Abb. 1: Einflussfaktoren auf den Wärmebedarf eines Wohnhauses

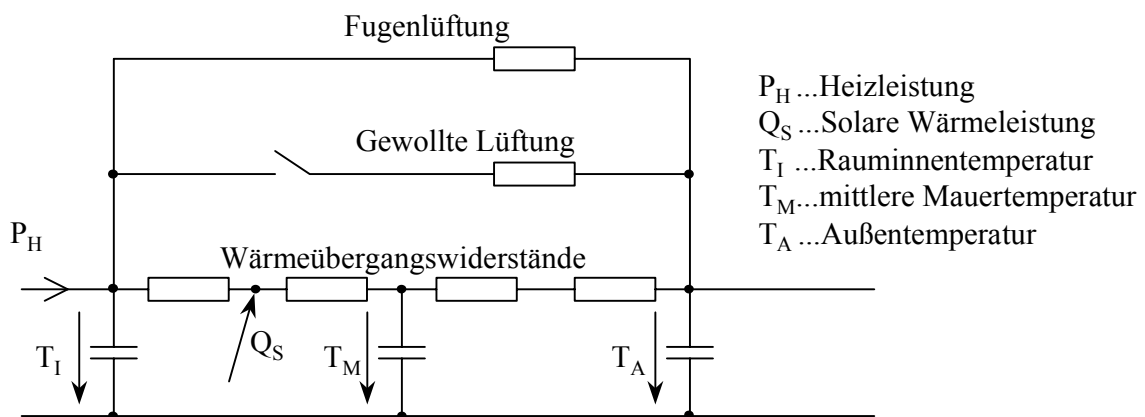


Abb. 2: Elektrisches Ersatzschaltbild der Simulation des Heizleistungsverbrauches von Wohnbauten

#### Literatur

- [1] E. Panzhauser: Verhaltens- und bautechnische Einflussfaktoren auf den Heizenergieverbrauch, E und M, 1982, pp352 - 355,
- [2] K. Krec, E. Panzhauser: Programmpaket EuroWAEBED, Version 1.0, Benutzerhandbuch, 1998-2000

## **Berücksichtigung von FACTS Elementen bei der Zuverlässigkeitsabschätzung von Hochspannungsnetzen**

G. THEIL

### 1. Einleitung

Der Einfluß des thyristorgesteuerten Schrägreglers (unified power flow controller, UPFC) auf die Netz Zuverlässigkeit bei stationären Netzzuständen wird untersucht. Er besitzt die größte Anzahl von Freiheitsgraden aller FACTS Elemente und erlaubt sowohl die Regelung des Wirk- und Blindleistungsflusses in Längsrichtung als auch des Spannungsbetrags gegen Erde. Für seine Nachbildung benötigt man daher ein nicht lineares Lastflußverfahren, welches nicht nur die Berechnung der Wirkleistungsflüsse, sondern auch der Blindleistungsflüsse und Knotenspannungen ermöglicht.

Für den UPFC existieren noch keine langfristigen Betriebserfahrungen und dementsprechend keine Zuverlässigkeitskennwerte. Daher mußten diese für die vorliegende Untersuchung frei angenommen werden. Die Modellierung in der Lastflußrechnung erfolgt in Anlehnung an [1]. Als Lastflußverfahren kommt ein nicht linearer auf der Funktionalmatrizenmethode beruhender Algorithmus zum Einsatz, dem eine evolutionsstrategische Lastflußoptimierung nach Schwefel [2] überlagert ist.

Die Auswirkung der UPFC Regelung auf die Zuverlässigkeit von Hochspannungsnetzen wird mit zwei Varianten eines realen Netzes mit 100 Knoten untersucht, in welches an drei bis vier Positionen UPFC eingefügt sind. Um Zustände zu simulieren, welche in einem freien Energiemarkt zu erwarten sind, wird je eine Einspeisesituation mit geringem und mit hohem Fremdbezug vorgegeben, wobei gleichzeitig unterschiedlich hohe Leistungstransfers eingepreßt werden.

### 2. Modellierung von FACTS Elementen in der Lastflußrechnung und Berücksichtigung in der Zuverlässigkeitsabschätzung

Modelle für FACTS Elemente und ihre Einbindung in die Lastflußrechnung und Lastflußoptimierung werden in [3], [4] und [5] beschrieben.

In der Zuverlässigkeitsabschätzung ist die Lastflußrechnung Teil der Fehlereffektanalyse, welche zur Klassifizierung der Ausfallzustände in Zustände mit und ohne Lastdefizit dient. Hierbei kommt einer realitätsbezogenen Simulation der Wirkung der Regelparameter des Netzes große Bedeutung zu, da damit durch Ausfälle hervorgerufene Grenzwertverletzungen eliminiert werden können. Neben der Knotenspannungsregelung durch PV- Knoten und der Einstellung von Transformatorstufen wird nunmehr auch die Regelung durch FACTS Elemente berücksichtigt. Die Einstellung der Regelparameter erfolgt zufallsgesteuert durch die Evolutionsstrategie mit dem Ziel, Grenzwertverletzungen zu minimieren.

### 3. Versuche

#### 3.1 Hochspannungsnetz

Ein reales, vorwiegend aus Kabeln bestehendes Hochspannungsnetz in zwei Ausbauvarianten und mit unterschiedlicher Höhe der Eigenerzeugung wird untersucht. In der ersten Ausbauvariante wird die Leistung aus den eigenen Kraftwerken über eine interne 380-kV-Kabelverbindung verteilt, welche sich über etwa die Hälfte der Fläche des Netzes erstreckt. In der zweiten Variante wird diese Verbindung auf das gesamte Netz ausgedehnt. Zusammen mit zwei Varianten der Eigenerzeugung ergeben sich folgende vier Netzvarianten:

- V.1 Ausbauvariante 1, 75% des Leistungsbedarfs wird in eigenen Kraftwerken erzeugt.
- V.2 Ausbauvariante 1, 30% des Leistungsbedarfs wird in eigenen Kraftwerken erzeugt.
- V.3 Ausbauvariante 2, 75% Eigenerzeugung.
- V.4 Ausbauvariante 2, 30% Eigenerzeugung.

Die Verbraucherlast ist in sämtlichen Varianten gleich und beträgt insgesamt 1870 MW. Die UPFC Elemente wurden immer in Serie zu Transformatoren geschaltet, damit man den Einfluß der UPFC Regelung leicht mit jenem der Transformatorregelung vergleichen kann. Außerdem wurden sie so positioniert, daß man damit Leistungstransfers vom internen Netz wirksam auf die externen Leitungen umverteilen kann.

#### 3.2 Zuverlässigkeitskenngrößen der Netzkomponenten

Zuverlässigkeitskenngrößen von Leitungen und Transformatoren stammen aus statistischen Auswertungen, jene von Sammelschienen wurden teils aus Literaturangaben entnommen, teils auch geschätzt. Für die FACTS Elemente wurden Kenngrößen mit Beträgen im Größenbereich der Transformatoren angenommen. Genauere Angaben findet man in [4].

#### 3.3 Resultate

Um die Auswirkung der UPFC Regelung und der konventionellen Regelung mittels Generatorspannungen oder Transformatorstufenschalter auf die Netzzuverlässigkeit zu vergleichen, werden mit den oben beschriebenen vier Netzvarianten Zuverlässigkeitsanalysen mit folgenden Regelungsarten durchgeführt:

- PV Ausschließlich die Generatorspannungsbeträge in den Einspeiseknoten werden geregelt.
- TR1 Generatorspannungsregelung wie oben; zusätzlich werden die Stufen jener Transformatoren, welche nicht an UPFC Elemente grenzen, geregelt. Die meisten Transformatoren sind 60-Grad-Schrägregler. Die Regelung wird erst durchschnittlich 20 min nach Eintreten der Situation, welche den Regelungseingriff erforderlich macht, wirksam.
- TR2 Generatorspannungsregelung; zusätzlich werden die Stufen jener Transformatoren, welche an UPFC Elemente grenzen, geregelt. Auch hier liegen 60-Grad-Schrägregler vor. Die Regelung wird wie vorhin erst verzögert wirksam.
- TR2u Generatorspannungs- und Transformatorregelung wie bei TR2, die Regelung wird jedoch unverzüglich wirksam.

UPFC Generatorspannungsregelung; zusätzlich werden sämtliche UPFC geregelt. Die Regelungen umfassen gleichzeitig den Querspannungsbetrag sowie Längsspannungsbetrag und -winkel. Die Regelung wird unverzüglich wirksam.

UP,TR Generatorspannungsregelung, Transformatorstufenregelung wie bei TR1 und UPFC-Regelung erfolgen gemeinsam. UPFC-Regelung wird unverzüglich, Transformatorregelung dagegen verzögert wirksam.

Um einen Leistungstransfer zu erzeugen wird in zwei diametralen Randknoten des Netzes eine Wirkleistung mit variablen Beträgen von 500 MW bis 1000 MW eingepreßt bzw. abgenommen. Für Variante V.2 wird die Durchleitung auf 800 MW begrenzt.

In der Abbildung wird der Einfluß des Leistungstransfers auf die Netzzuverlässigkeit bei unterschiedlichen Regelungsarten dargestellt. In Variante V.1, insbesondere aber in den Varianten V.3 und V.4 besitzt das Netz ausreichend Kapazitätsreserve für die Beeinflussung der Lastflußverteilung, so daß die Ausfallenergie durch die Regelungen sehr stark verringert wird. In Variante V.2 befindet es sich dagegen an seiner Kapazitätsgrenze, weshalb sich die Netzzuverlässigkeit mittels Netzelement Regelungen nur verhältnismäßig wenig beeinflussen läßt.

Es ist deutlich erkennbar, daß es vorteilhafter ist, die in den UPFC Positionen situierten Transformatoren (Regelungsart TR2, TR2u) zu regeln, als die in anderen Positionen lokalisierten Transformatoren (Regelungsart TR1). Mit unverzügter Transformatorregelung (TR2u) erzielt man gegenüber der verzögerten (TR2) in den Netzvarianten V.1 und V.2 nur eine geringfügige Verringerung der Ausfallenergie. Hier erhält man mit UPFC Regelung ein deutlich besseres Resultat. In den Varianten V.3 und V.4 dagegen erbringt Regelungsart TR2u denselben Zuverlässigkeitsgewinn wie die UPFC Regelung. Dies ist dadurch begründet, daß in den ersten beiden Netzvarianten nach Ausfällen Spannungsprobleme auftreten, welche sich mittels UPFC verringern lassen, wenn diese als statische Kompensatoren arbeiten. In den anderen beiden Netzvarianten reicht dagegen zur Wiederherstellung eines zulässigen Netzzustandes in den meisten Fällen eine Umverteilung der Leistungsflüsse aus, was sowohl mittels UPFC als auch mittels Transformator- Schrägeregler erreicht werden kann. In der Praxis ist jedoch die Reaktionszeit der Transformatorregelung nicht kurz genug, um ein Netz nach schwerwiegenden Ausfällen immer in einen sicheren Zustand überzuführen. Die Regelungsart TR2u ist daher eher von theoretischer Bedeutung.

Die teilweise sehr hohen Werte für die Ausfallenergie kommen dadurch zustande, daß auch Defizite berücksichtigt werden, welche durch Wartungsabschaltungen ohne gleichzeitige Ausfälle hervorgerufen werden. Da dem Lastverteiler die Schwachstellen seines Netzes genau bekannt sind, werden jedoch solche Defizite in der Praxis nicht auftreten. Berücksichtigt man dies in der Zuverlässigkeitsabschätzung, so reduziert sich die Ausfallenergie auf einen Maximalwert von 2660 MWh/a.

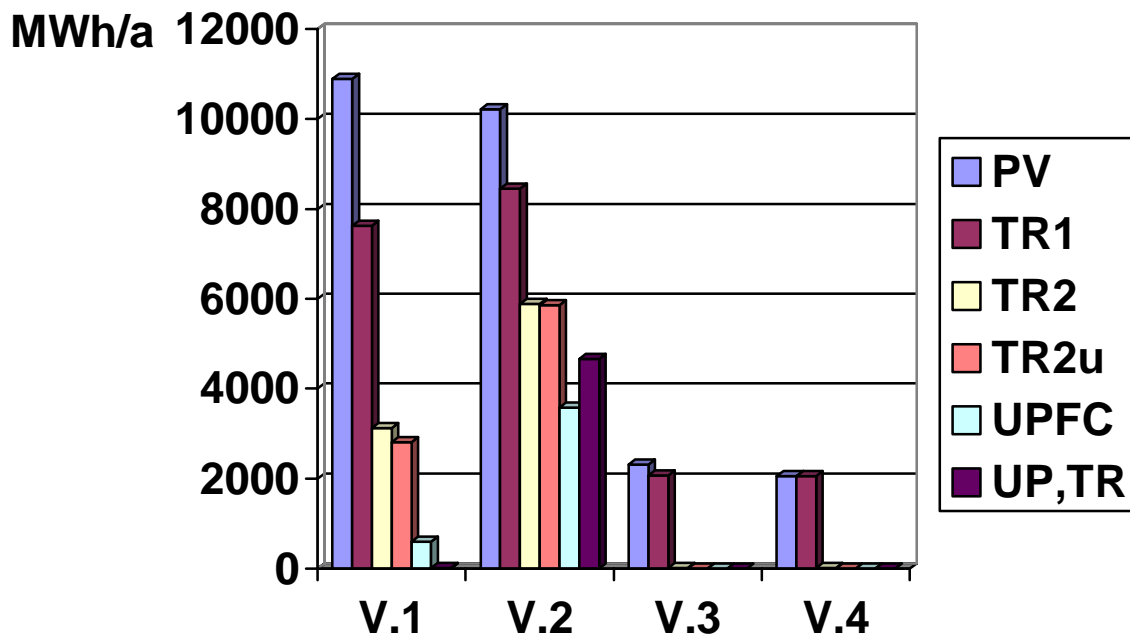


Abb. 1 Ausfallenergie unterschiedlicher Netzvarianten, Variante V.1, V.3 und V.4 mit 1000 MW Durchleitung, Variante V.2 mit 800 MW Durchleitung

Ergebnisse weiterer Untersuchungen findet man in [4].

#### 4. Schrifttum

- [1] Noroozian, M., Ångquist, L., Ghandhari, M., Andersson, G.: Improving power system dynamics by series-connected FACTS devices. IEEE Transactions on Power Delivery. 12(1997), H.4, S.1635-1641.
- [2] Schwefel, H.P.: Evolutionsstrategien. Programme und Benutzeranleitungen. Kernforschungsanlage Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung. 1980.
- [3] Theil, G.: Berücksichtigung von FACTS- Elementen in der optimierenden Lastflußrechnung. Forschungsbericht FB 4/1999, Institut für Elektrische Anlagen, TU-Wien.
- [4] Theil, G.: Berücksichtigung von FACTS Elementen bei der Zuverlässigkeitsabschätzung von Hochspannungsnetzen. Forschungsbericht FB 2/2000, Institut für Elektrische Anlagen, TU-Wien.
- [5] Jahresbericht 1999, Institut für Elektrische Anlagen, TU-Wien.

## Strömungsmechanisches Modell eines Schaltlichtbogens bei magnetischer Blasung

Leiter: em. o. Univ. Prof. Dr. Werner RIEDER.

Durchführung in enger Zusammenarbeit mit o. Univ. Prof. Dr. Wilhelm SCHNEIDER,  
Vorstand des Instituts f. Strömungslehre und Wärmeübertragung.

Ziel: Den Einfluß der strömungsdynamischen Verhältnisse auf die Bewegung eines magnetisch beblasenen Lichtbogens in Lichtbogenkammern einfacher Geometrie zu erfassen und ein möglichst einfaches mathematisches Simulations-Modell der Lichtbogenbewegung zu entwickeln, das bei der Optimierung der Löschkammergeometrie von Niederspannungs-Leitungsschutzschaltern dienlich ist.

Industriepartner: EATON Corp., Milwaukee (USA); SIEMENS AG, Regensburg (D).

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Karl BERGER,  
Dipl.-Ing. Bernhard GESSL.

Für zufriedenstellende strombegrenzende Funktion von Leitungsschutzschaltern bei der Kurzschlußunterbrechung ist unter anderem eine rasche Bewegung des Schaltlichtbogens von der Stelle der Kontakttrennung zu den Löschblechen erforderlich. Die rasche Expansion des Lichtbogens nach seiner Entstehung sowie dessen Bewegung verursacht Druckwellen, die sich in der Lichtbogenkammer fortpflanzen und an den Enden reflektiert werden. Die Wechselwirkung dieser reflektierten Druckwellen mit dem Lichtbogenplasma ist von maßgeblichem Einfluß auf die Lichtbogenbewegung.

Bisherige Untersuchungen und Simulationen konzentrierten sich auf Anordnungen mit parallelen Lichtbogenlaufschienen zwischen seitlichen Isolierstoffwänden. Um die Stärke der magnetischen Blasung unabhängig vom Lichtbogenstrom variieren zu können, erfolgte symmetrische Stromzu- und abfuhr zu den Laufschienen, die Kraft auf den Lichtbogen wurde durch ein externes transversales Magnetfeld bewirkt.

Ein Schritt der Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse im Leitungsschutzschalter ist die Untersuchung von Kammeranordnungen mit *divergenten Laufschienen*. Die Kompensation des Eigenmagnetfeldes durch eine symmetrische Speisung ist dann prinzipiell nicht mehr möglich. Die Lorentz-Kraft auf den Lichtbogen wird bei der einseitigen Speisung durch das Eigenfeld in den Laufschienen bewirkt. Um dennoch die Stärke der magnetischen Blasung bei gegebener Geometrie und Lichtbogenstrom variieren zu können, wurden Versuche mit unterschiedlicher Laufschienenhöhe (Leiterquerschnitt 5mm×15mm oder 5mm×1mm) ausgeführt. Das Eigenmagnetfeld wurde für einen Teil der Versuche durch ein überlagertes externes Magnetfeld geschwächt. Die Versuche erfolgten mit parallelen Laufschienen und mit asymmetrischer Aufweitung von 60°, 75° und 90°. Das Ende der Lichtbogenkammer war entweder offen, oder mit einer Anordnung von Keramikplättchen zu 50% verdämmt, die Seitenwände wurden stets dicht anliegend angeordnet.

Um die Bewegung des Lichtbogens zu erfassen, wurde für jede Kammergeometrie eine entsprechende Anordnung von 30 Lichtleitern ausgeführt. Zu ausgewählten Zeitpunkten wurde eine Fotografie bei ca. 10µs Verschlusszeit aufgenommen. Um die Ausbreitung von Druckwellen in der Lichtbogenkammer zu studieren, wurden Drucksensoren in der Keramikwand angeordnet. Die folgende *Abb. 1* stellt die Versuchsanordnung mit einer eingeblendeten Lichtbogenfotografie dar.

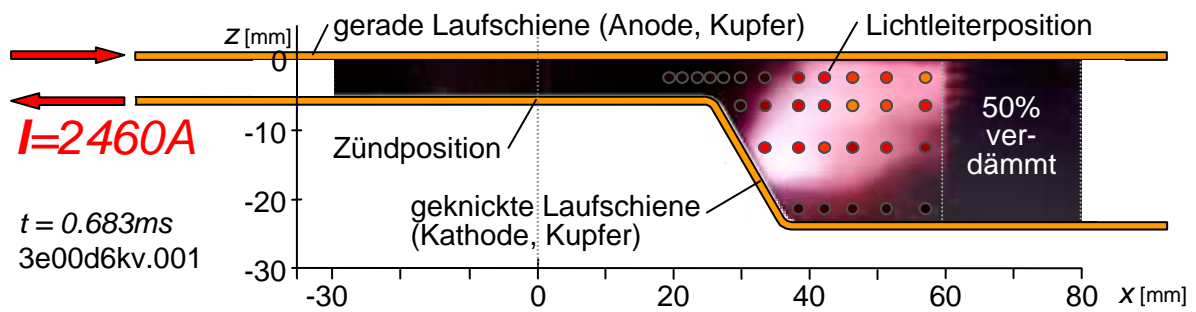


Abb. 1: Lichtbogenfotografie und Versuchsanordnung für einen Versuch mit 3010 A Strommaximum vor Erreichen der Aufweitung, Breite der Anordnung 5 mm, Laufschienenabstand vor der Aufweitung 5 mm, 60° geknickte Kathode, Abstand nach der Aufweitung 24 mm. Elektrodenhöhe 1 mm. Kurzzeitfotografie 0.683 ms nach der Zündung.

Die Bewegungsgeschwindigkeiten der Fußpunkte an der geraden beziehungsweise geknickten Laufschiene sind im Bereich der Aufweitung stark unterschiedlich. Plasmastrahlen, die von stationären oder sich nur langsam bewegenden Fußpunkten an der geknickten Laufschiene ausgehen beeinflussen, ebenso wie eine eventuelle Verdämmung, die Wanderungsgeschwindigkeit auf der geraden Laufschiene.

Weder das für Kammern mit parallelen Laufschiene entwickelte „Slug“-Modell für den Lichtbogen (das den Lichtbogen zwischen den Wänden ähnlich einer sich bewegenden Blase in einem Rohr beschreibt) noch das damit gekoppelte eindimensionale Wellenausbreitungsmodell lässt sich auf die geänderten geometrischen Verhältnisse bei divergenten Laufschiene unmittelbar übertragen.

Daher wurden (noch für parallele Laufschiene) mit einem CFD-Programm (Computational Fluid Dynamics, finite Volumenmethode) zweidimensionale Simulationen des Lichtbogens in der Ebene zwischen den Elektroden und auch in der Ebene zwischen den Wänden durchgeführt. Die Breiten und Temperaturen der Lichtbögen für gleiche Stromstärken, bei der xy-Rechnung (Ebene zwischen den Wänden) im Vergleich zur xz-Rechnung (Ebene zwischen den Elektroden) differieren.

Es ist zu erwarten, dass mit Hilfe einer dreidimensionalen Simulation des Lichtbogens zwischen parallelen Elektroden, seitlich dichten Wänden und externer Bebläsung ein besseres Ergebnis zu erzielen ist. Anschließend soll in der 3D-Simulation auch das Eigenfeld in den Zuleitungen mit berücksichtigt werden. Weiters ist die 3D-Simulation mit divergierenden Laufschiene und der Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen geplant.

## **Kontaktkinetik**

Leiter: em. o. Univ. Prof. Dr. Werner RIEDER.

Ziel: Schaffung allgemein anwendbarer quantitativer Unterlagen über den Einfluß der Kontaktkinetik auf Kontaktzuverlässigkeit und Lebensdauer von Schaltgeräten für Nennströme  $\leq 16$  A.

Industriepartner: AMI Doduco, Tyco (Axicom), Cherry, dmc<sup>2</sup>, Elektrisola, Gruner AG, Hella KG, Hengstler Bauelemente GmbH, Heraeus GesmbH, Inovon GmbH & Co. KG, Metalor, Quinel, Siemens AG, Trierer Walzwerk GmbH, Tyco Electronics

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Martin HAMMERSCHMIDT  
Dipl.-Ing. Alexander NEUHAUS.

Die Untersuchungen betreffen primär die Ursachen des Nichtöffnens von Schaltkontakten in Relais oder Mikroschaltern und die Abhängigkeit dieser Ausfallsursachen von der Schaltzahl und den Parametern der Kontaktkinetik .

Es werden parallellaufende Untersuchungen durchgeführt an

- a) Serienschaltgeräten, um deren Ausfallursachen zu identifizieren,
- b) Modellschaltern, um den Einfluß einzelner Parameter auf bestimmte Ausfallmechanismen zu analysieren.

Erste Untersuchungen ließen mehrere Mechanismen des Verschweißens und des Verhakens der Kontakte erkennen; sie führten zur Entwicklung von

- a) Meßeinrichtungen, Versuchs- und Auswerteprogrammen zur Diagnose der Ausfallursachen von Seriengeräten
- b) Modellschaltern, Versuchs- und Auswerteprogrammen zur Untersuchung der Beeinflußbarkeit der Ausfallmechanismen.

Zur Identifikation der Ausfallmechanismen werden die Verläufe der Kontaktspannung, des Stroms und wenn möglich der Kontaktbewegung und der Kontaktkraft gemessen. Das Gerät ist sowohl im eigenen Labor als auch in den Prüffeldern der Gerätehersteller einsetzbar.

Die Modellschalter ermöglichen die unabhängige Variation von Kinetikparametern wie Kontaktkraft, Kontaktbewegung, deren Tangentialkomponente, Impuls und Durchhub.

Die Entwicklung der Versuchseinrichtungen ist derzeit weitgehend abgeschlossen. Vorversuche haben die Voraussetzungen zur Identifikation verschiedener Ausfallmechanismen geschaffen.

Die Ausfallmechanismen werden beeinflusst durch

- Schaltbelastung
- Konstruktionsparameter (abhängig von der Schaltzahl)
- Kontaktoberflächenbeschaffenheit (abhängig von der Schaltzahl)
- Kontaktwerkstoff

Nun sollen Reihenversuche vor allem zeigen, welche Parameter durch die Schaltzahl kritisch verändert werden und in welcher Weise dies geschieht.



## Bereich Hochspannungstechnik: Lichtbogeneinwirkung auf Quarzkristalle (Blitzquarze)

W. HADRIAN, K. BERGER

Beim Einschlag eines Blitzes in sandigem Boden entstehen, ähnlich wie bei der Kurzschlußabschaltung in einer Schmelzsicherung, charakteristische röhrenförmige Schmelzraupen, sogenannte Fulgurite. Aus dem brasilianischen Espinhaço Gebirge sind Quarzkristalle mit bestimmten Oberflächenverletzungen bekannt, die aufgrund ihrer Struktur nicht durch mechanische Einwirkung entstanden sein können, sondern durch die hohe Temperatur eines Blitzkanals entlang der Kristalloberfläche erklärt werden können (J. Karfunkel et. al an der Univ. Belo Horizonte, Brasilien), die Gefügeänderungen und Absplitterungen hervorruft. Versuche an Quarzkristallen, die bereits 1998 am Inst. für Schaltgeräte und Hochspannungstechnik der TU-Wien und in der Folge an der TU Ilmenau durchgeführt wurden, ergaben den Funden entsprechende Oberflächenveränderungen.

Von Karfunkel wurde die Frage gestellt, ob an farbigen Kristallen (etwa Rauchquarz) Farbveränderungen durch die Lichtbogeneinwirkung entstehen können. Da nicht der wenige  $\mu\text{s}$  auftretende Blitzstrom von einigen 10kA sondern vor allem ein eventueller, hunderte ms andauernder Nachstrom für die eingebrachte Wärmemenge maßgeblich ist, kann auf eine Nachbildung des Blitz-Stossstromes verzichtet werden.

Der Kristall und ein an der Oberfläche entlangführender Silber-Zünddraht sind vollständig in Quarzsand eingebettet. Die Speisung erfolgt aus der Hausbatterie mit 440 V, die Stromstärke wird durch einen Vorwiderstand gegeben, eine Serieninduktivität von 2 mH dient zur Lichtbogenstabilisierung. Falls der Lichtbogen nicht nach einer vordefinierten Zeit verlöscht, wird der Stromkreis unterbrochen.

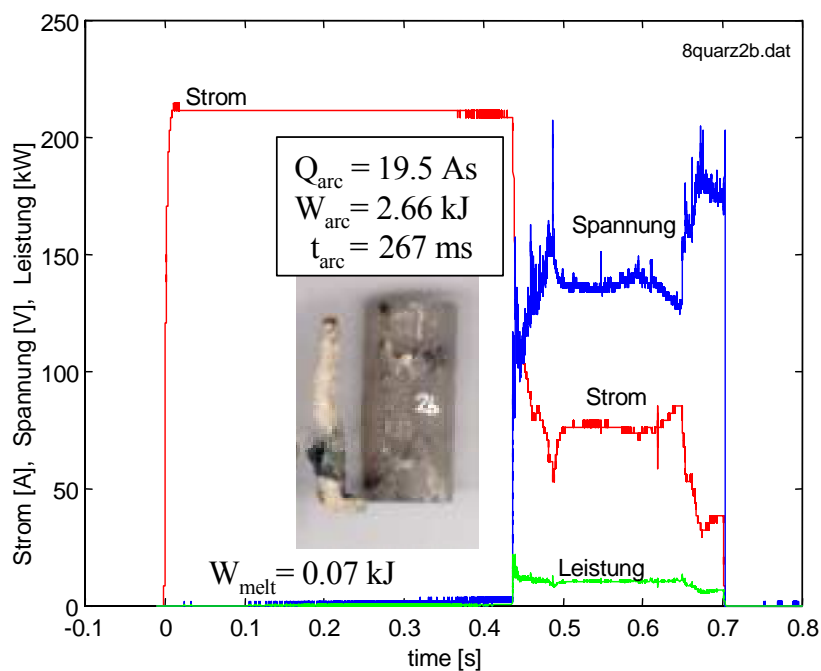


Abb. 1: Zeitverlauf von Strom, Spannung, Leistungsumsatz im Prüfgefäß. Das eingebettete Foto zeigt den entstandenen Fulgurit und einen Rauchquarz (60 mm×30 mm) nach erfolgtem Versuch.

Die Abb. 1 zeigt den Zeitverlauf von Strom, Spannung und Leistung für einen Versuch an einem Rauchquarz. Nach dem Schmelzen/Verdampfen des Zünddrahtes stellt sich ein mit wachsender Lichtbogenlänge sinkender Lichtbogenstrom ein, der nach 0.7 ms unterbrochen wurde.

Die eingebettete Fotografie zeigt links den entstandenen Fulgurit, der an der Kristalloberfläche anlag, und rechts den Rauchquarz mit starken Absplitterungen längs einer

Kristallfläche. Ausser punktuell aufgetretenenen Schwärzungen durch Verunreinigungen konnten weder am Kristall noch an den abgesplitterten Kristall Farbbänderungen festgestellt werden.

### **Stosstromgenerator für Demonstrationszwecke im Rahmen der Laborübungen aus Hochspannungstechnik**

K. BERGER

ImVorjahr wurden 4 gebrauchte Stosskondensatoren erworben, die sich durch eine niedrige Eigeninduktivität auszeichnen. Deren Eignung für den Aufbau eines Stosstromgenerators soll demonstriert werden. Die Daten eines Kondensators:  $C = 1.8 \mu\text{F}$ ,  $U_{\text{max}} = 60 \text{ kV}$ ,  $L \leq 20 \text{ nH}$ .

Wird ein Kondensator auf 60 kV geladen und über die Serienschaltung einer Induktivität von  $8.5 \mu\text{H}$  mit einem induktivitätsarmen Widerstand von  $1.53 \Omega$  entladen, ergibt sich ein Stromverlauf, der einem 4/10  $\mu\text{s}$  Impuls (Stirnzeit  $4\mu\text{s}$ , Rückenhalbwertszeit  $10 \mu\text{s}$ ) mit einem Scheitelwert von  $17,5 \text{ kA}$  entspricht. Zur Messung des Stossstromes wird ein Reusenshunt mit  $17 \text{ m}\Omega$  verwendet. Unter Verwendung von 4 dieser Kondensatoren können 4/10  $\mu\text{s}$ -Stossströme mit bis zu  $70 \text{ kA}$  Scheitelwert realisiert werden.

## **6. Forschungsförderung und Projekte**

Seitens der EU (EC) wurde im Rahmen von **Brite-Euram II** unter der Kontrakt-Nr. BRRT-CT97-5023 das Institut (vertreten durch MÜLLER als Projektbetreuer) innerhalb eines thematischen Netzwerks "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems" (IFS) auf drei Jahre gefördert (auslaufend mit 2000).

MAIR, M.: Untersuchung des Blitzeinschlagmechanismus mit Hilfe optischer Erfassung, Hochschuljubiläumstiftung der Stadt Wien (Proj. 77/98), 2. Jahr.

HADRIAN, W.: Direct measurements of lightning currents on a telecommunication tower, Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Proj. 12977-TEC), 3. Jahr.

BRAUNER, G., BERGER, M.: Neue Schutzalgorithmen zur Unterscheidung von außerordentlichen Betriebszuständen und Fehlerzuständen. Im Auftrag von RWE Energie AG Essen.

BRAUNER, G., ZAPREVA, S.: Energiemanagement mit Windenergieeinspeisung. Im Auftrag von VEÖ.

BRAUNER, G., ZAPREVA, S.: Netzrestrukturierung und Ermittlung des Kosteneinsparungspotential. Im Auftrag von Wienstrom.

## **7. Preise und Ehrungen**

ZAPREVA, S.: CIGRE-Förderpreis für "Algorithmus zum Bestimmen der freien Transitzkapazität"

## **8. Forschungsberichte**

Hinweis zu den Forschungs- und Institutsberichten:

In der Reihe der vom Institut für Elektrische Anlagen an der Technischen Universität Wien herausgebrachten Forschungs- und Institutsberichten werden wichtige (Teil-)Ergebnisse aus der Forschung publiziert. Diese Forschungs- und Institutsberichte liegen sowohl in der Institutsbibliothek als auch in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien auf. Kurzfassungen bzw. Kurzinformationen dazu (auf Anforderung auch die vollständigen Fassungen) werden ferner an interessierte Universitätsinstitute des In- und Auslandes, an die Universitätsbibliothek Hannover und TIB sowie an Fachleute aus österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen verteilt.

FB 1/2000:

RASCHBACHER, F.: Simulation von Klimadaten

FB 2/2000:

THEIL, G.: Berücksichtigung von FACTS-Elementen bei der Zuverlässigkeitsabschätzung von Hochspannungsnetzen

## 9. Veröffentlichungen

BRAUNER, G.: Regenerative Energien im liberalisierten Markt. (invited paper) Symposium „Energieinnovationen im liberalisierten Markt“, 1./2. Februar 2000, Graz.

BRAUNER, G., ZAPREVA, S.: Anforderungen an Tarifmodelle für Energietransite. „Energieinnovationen im liberalisierten Markt“, 1./2. Februar 2000, Graz.

HUBER, C., BRAUNER, G.: Nationaler Emissionshandel: Möglichkeiten und Initiativen – Ein Überblick. „Energieinnovationen im liberalisierten Markt“, 1./2. Februar 2000, Graz.

BRAUNER, G.: Informationsbedarf aus der Sicht der netztechnischen Systemführung. 5. GMA/ETG-Fachtagung Netzregelung: „Führungsaufgaben und Interaktionen von Kraftwerken und Netz bei deregulierter Elektrizitätswirtschaft“, 23./24. Februar 2000 in München.

BRAUNER, G.: FACTS in the liberalized Market – From the state-of-the-art to future trends. (invited paper). International Conference and exhibition on Power Conversion, Intelligent Motion, Power Quality PCIM2000, 4.- 8. Juni 2000.

BRAUNER, G., HENNERBICHLER, C.: Functional sensitivity of low voltage consumers on voltage dips. International Conference and exhibition on Power Conversion, Intelligent Motion, Power Quality PCIM2000, 4.- 8. Juni 2000.

HENNERBICHLER, C., BRAUNER, G.: Universal analysis and prognosis of flicker in distribution networks. International Conference and exhibition on Power Conversion, Intelligent Motion, Power Quality PCIM2000, 4.- 8. Juni 2000.

BRAUNER, G., PÖPPL, G., GERSTL, F., SCHWARZBERGER, K., LAVICKA, G.: Planung von dezentralen Querverbundsystemen. e&i 117(2000)H.7/8, S. 448-455.

BRAUNER, G.: Power Quality in Liberalised Market. DistribuTech Europe 2000, 10 – 12 October 2000, Vienna.

LENZ, P., BRAUNER, G., LITZKA, J., PUCHER, E.: LKW-Alpentransit elektrisch? Innovative Fahrzeugantriebe. VDI-Kongress, 26./27. Oktober 2000, Dresden, VDI Berichte Nr. 1565, 2000, S.605-623.

BRAUNER, G., LAVICKA, G., VOGLER, K., REISINGER, F.: Anlagen-Zustandsbewertung und Erneuerungsstrategien. e&i 117(2000)H10, S. 624-628.

BOUQUEGNEAU, C. and W. HADRIAN : Lightning daown-Conductors and Grounding. Proceedings of the 25.International Conference on Lightning Protection. Rhodes–Greece 2000. Volume A, p. 409-410

DIENDORFER, G., MAIR, M., SCHULZ, W., HADRIAN, W.: Lightning current measurements in Austria – Experimental setup and first results. Proceedings of the 25th International Conference on Lightning Protection, Rhodes 2000, Seite 44-47.

DIENDORFER, G., SCHULZ, W., MAIR, M.: Evaluation of a LLS based on lightning strikes to an instrumented tower. International Lightning Detection Conference, Tucson 2000, Paper 21.

MÜLLER, H., gemeinsam mit HÜLSEMANN, M.: Fuzzy-Neural Network Model for Mid-Term Electric Energy Market Price Prediction. Paper to 3rd European IFS Workshop 2000 "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Santorini/Greece, June 2000; pp. 41-46 in B. BITZER (Hrsg.): Proceedings of the 3rd European IFS Workshop "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Aachen: Shaker Verlag, 2000 (Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktionsautomatisierung; Bd.2).

MÜLLER, H., gemeinsam mit REINISCH, W.: Modelling of Energy Markets for Price Prediction. Paper to 3rd European IFS Workshop 2000 "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Santorini/Greece, June 2000; pp. 35-40 in B. BITZER (Hrsg.): Proceedings of the 3rd European IFS Workshop "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Aachen: Shaker Verlag, 2000 (Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktionsautomatisierung; Bd.2).

MÜLLER, H., gemeinsam mit RUDOLF, A., AUMAYR, G. und FUCHS, E.: Untersuchung dezentraler Energieversorgungssysteme mit dem Energiemanagementsystem SICAMDEMS. e&i 117 (2000) H.7/8, S. 461-467.

ZAPREVA, S.: Algorithmus zum Bestimmen der freien Transitkapazität. e&i-Verbandszeitschrift des Österreichischen Verbandes für Elektrotechnik, Dezember 2000.

## 10. Vorträge

BRAUNER, G.: „Der energiewirtschaftliche Vergleich verschiedener Verkehrsträger.“ Energieenquete „Der Energiebedarf im Verkehr“, 7. April 2000, Haus der Industrie, Wien.

BRAUNER, G.: „Netzzugang und Tarife – technisch-wissenschaftliche Klärung von aktuellen Streitfragen“. EURORORUM „Das österreichische und europäische Energierecht“. 10. Mai. 2000 in Wien.

BRAUNER, G.: „Überlegungen für einen innovativen und kosteneffizienten Maßnahmenmix“, (Expertenmeinung zur Umsetzung des nationalen Kyoto-Zieles). Industriellenvereinigung, im Rahmen der Veranstaltung „CO<sub>2</sub> und Klimaschutz“ am 24 Mai 2000, Haus der Industrie, Wien.

HENNERBICHLER, C., BRAUNER, G.: Universal analysis and prognosis of flicker in distribution networks. PCIM2000 (Power Conversion, Intelligent Motion, Power Quality), Nürnberg 6.-8. Juni 2000.

BRAUNER, G., HENNERBICHLER, C.: Functional sensitivity of low voltage consumers on voltage dips. PCIM2000 (Power Conversion, Intelligent Motion, Power Quality), Nürnberg 6.-8. Juni 2000.

BRAUNER, G., LITZKA, J., PUCHER, E.: Ökologischer Schwerlasttransit auf Hauptverkehrsrouen Vorstellung der Praefeasibility-Study.. Forschungsforum der Verbundgesellschaft am 7. September 2000, Technisches Museum Wien.

BRAUNER, G., HUBER, C., SCHUBERT, U., PLÖCHL, C.: Analyse der Rahmenbedingungen für Kyoto-Mechanismen. „Erneuerbare Energien und Umwelt“ 12. Dezember 2000, Industriellenvereinigung, World Energy Council, Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs, Wien, 12. Dezember 2000.

BRAUNER, G., ZAPREVA, S.: Anforderungen an Tarifmodelle für Energietransite. 6. Symposium Energieinnovation im liberalisierten Markt, Graz, Februar 2000.

HADRIAN, W.: Elektromagnetische Felder im Alltag. Energietechnische Gesellschaft des SEV. Fribourg/Schweiz , 20. Juni 2000

HADRIAN, W.: Gewitter. ORF Ö1, Radiokolleg. 5. Juli 2000

HADRIAN, W.: Blitz-Krieg (Sommer der Katastrophen). NEWS Nr.28, S. 44 . 13. Juli 2000

HADRIAN, W.: Schirmung gegen niederfrequente Felder. IEEE Jahresversammlung. 29.6. 2000

MÜLLER, H.: Fuzzy-Neural Network Model for Mid-term Electric Energy Market Price Prediction. Presentation at 3rd European IFS Workshop 2000 "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Santorini, Greece, June 2000.

MÜLLER, H.: Modelling at Energy Markets for Price Prediction. Presentation at 3rd European IFS Workshop 2000 "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems", Santorini, Greece, June 2000.

THEIL, G.: Anwendung moderner Methoden zur Zuverlässigkeitsberechnung in der Netzplanung. Vortrag an der Technischen Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen, im Rahmen einer Vorlesung über Elektrische Energiesysteme. 18.12.2000.

### **11. Veranstaltungen/Seminare**

HADRIAN, W.:

21.-23.11.2000 EMV-Tage in München

Kurstitel: EMV-Fachmann Stufe 2

(Energie/Anlagentechnik) mit Demonstrationen (3 Tage)

MÜLLER, H.:

7. - 8. Juni 2000: Sitzungs-Vorsitz/-Moderation der Session III "Electrical Load Forecasting" beim 3rd European EC-Thematic Network "Intelligent Forecasting Systems for Refineries and Power Systems" (IFS)-Workshop 2000 in Santorini, Griechenland.

## **12. Mitwirkung in Fachgremien**

BRAUNER, G.:

- Österreichisches Nationalkomitee der CIGRE
- Österreichisches Nationalkomitee CIRED
- ÖVE, Geschäftsausschuß der ÖGE
- VEÖ-Arbeitskreis "Spannungsqualität"
- VDI/VDE-GMA "Netzregelung"
- FGH "Arbeitskreis technisches Rechnen"
- Wissenschaftlicher Beirat e&i
- Wissenschaftlich-industrieller Beirat des Österr. Forschungs- und Prüfzentrums Arsenal

HADRIAN, W.:

- Vorsitzender des Ausschusses Blitzschutz (BL) im Österreichischen Verband für Elektrotechnik (ÖVE)
- Vorsitzender des Normenausschusses für Blitzschutz
- Leiter der Arbeitsgruppe "Messung niederfrequenter, elektromagnetischer Felder" im ÖVE
- Präsident des Vereines der Freunde des Elektropathologischen Museums
- Mitglied des wissenschaftlichen Komitees der Internationalen Blitzschutzkonferenz (ICLP)
- Mitglied des Advisory Committee (EMC Zurich Symposium)

MÜLLER, H.:

- im Vorstandsrat der Österr. Gesellschaft für Operations Research (ÖGOR)
- Leitung des Arbeitskreises "Prognose" der ÖGOR
- im Ausschuß "Technische Informationsverarbeitung" (TIV) des Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs (VEÖ)
- im Fachnormenausschuß FNA 093 "Energiewirtschaft" des Österreichischen Normungsinstituts (ON)
- in der Arbeitsgruppe AG 093.50 "Koordination/Weltenergiekonferenz" des FNA 093 im ON
- Vorsitz der Arbeitsgruppe AG 093.13 "Prognose" des FNA 093 im ON

THEIL, G.:

- Arbeitskreis "Verfügbarkeit in Hochspannungsleitungen" des Unterausschusses "Störungs- und Schadensstatistik" des Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs.



## 13. Einrichtungen des Instituts

### Prüf- und Meßeinrichtungen

#### **Meßgeräteausstattung des EMV-Labors**

##### **\* Impulsgeneratoren**

- Stoßstromgenerator CP 1500 (Haefely): Stoßstromgenerator mit Blitzkurvenform (1 $\mu$ s/50 $\mu$ s), Scheitelwert des Stromes 30 kA, zum Testen von Blitzschutzmaterialien und Überspannungsableitern, ortsfestes Gerät
- Stoßstromgenerator CP 360 (Haefely): Stoßstromgenerator mit Blitzkurvenform (1 $\mu$ s/50 $\mu$ s), Scheitelwert des Stromes ca. 5 kA, zur Überprüfung von EMV-(Blitzschutz-)Maßnahmen, z.B. Erdungsanlagen in Umspannwerken
- Stoßspannungsgenerator P 12 (Haefely): Stoßspannungsgenerator mit Blitzkurvenform, Scheitelwert der Spannung 12 kV, Überprüfung von Isolationen, Erzeugung von Wanderwellen auf Hochspannungsfreileitungen.
- Impulsgenerator PEMI + Streifenleitung (Haefely): erzeugt in der Streifenleitung ein impulsförmiges elektromagnetisches Feld (Anstiegszeit des Impulses ca. 5 ns), das den NATO-Spezifikationen für den Nuclear Electromagnetic Pulse entspricht, zur Prüfung der Störfestigkeit von Geräten für den Zivilschutz und militärtechnischem Zubehör.
- Störimpulsgenerator P 3 (HFD-Relais Tester, Haefely): Gerät erzeugt abklingende 1 MHz-Schwingung mit Folgefrequenz von 400 Hz (entspricht Störungen die von Trennerschaltungen hervorgerufen werden), Prüfung von elektronischen Schutzgeräten (z.B. Kurzunterbrechung, Leitungsschutz) nach IEC 255-4
- Burst-Generator (Meßwandlerbau): Gerät erzeugt Störimpulsgruppen mit hoher Wiederholfrequenz, wie sie beim Schalten induktiver Lasten mit Relais oder mechanischen Schaltern entstehen, Prüfung der Störfestigkeit von Meß- und Steuereinrichtungen nach IEC 801-4, z.B. störsichere Rechnerstrukturen und selbstkorrigierende Programmsysteme
- ESD-Generator SESD 200 (Schlöder)

##### **\* Netz-Störsimulatoren (Schaffner)**

- Grundgerät NSG 200E
- Einschub NSG 203A: zur Simulation von kurzzeitigen Netzspannungsunterbrechungen bzw. Netzspannungsschwankungen
- Einschub NSG 222A: erzeugt schnelle Störimpulse (Anstiegszeit 5 ns) mit relativ geringer Energie (Impulsdauer 100 ns), wie sie durch mechanische Schalter, Relais usw. Produziert werden
- Einschub NSG 224A: Gerät erzeugt Störimpulse wie sie durch mechanische Schaltvorgänge induktiver Lasten (Motoren, Wechselrichter usw.) erzeugt werden

##### **\* Meßeempfänger (Schwarzbeck)**

- LSME 1530: 10 kHz - 150 kHz
- FSME 1515: 80 kHz - 30 MHz
- VUME 1520: 25 MHz - 1000 MHz
- plus zugehörigen Antennen

Zur Messung der elektrischen Feldstärke, z.B. Messung der Funkstörungen durch Koronaentladungen, Schirmdämpfungsmessungen von Gebäuden oder Räumen (z.B. Schaltwarten), Messung der Störstrahlung von USV-Anlagen

\* **Leistungsverstärker (ENI):** 9 kHz - 250 kHz, ca. 2000 W, zur Speisung von Rahmenantennen für die Erzeugung von magnetischen Feldern für Schirmdämpfungsmessungen von Gebäuden oder Räumen

\* **Meßgeräte zur Messung magnetischer Felder**

- Gaußmeter Bell, Modell 640: 0 - 400 Hz, ausschließlich eingesetzt zur Messung von magnetischen Gleichfeldern und Gleichfeldschwankungen (d.h. Änderungen des Erdfeldes hervorgerufen durch in der Nähe des Meßortes vorbeiführende Gleichstrombahnen oder vorbeibewegte Eisenmassen, z.B. Eisenbahnwaggons), Gleichfeldschwankungen stellen einen Störfaktor für eine Reihe von elektrophysikalischen Geräten dar (z.B. Elektronenmikroskope)
- Feldmeßgerät COMBINOVA MFM 10: mißt mit 3 zueinander senkrecht stehenden Spulen den Maximalwert der magn. Induktion, Frequenzbereich 10 Hz - 2 kHz, zur Messung der magn. Induktion im Bereich von Hochspannungsfreileitungen und Schaltanlagen und zur Messung von Bildschirmen nach dem schwedischen MPR-Standard
- Feldmeßgerät COMBINOVA MFM 1000: Frequenzbereich 2 kHz – 400 kHz
- EmdexC-Exposimeter: Gerät von der Größe einer Kleinbildkamera, mißt in einem vor der Messung einstellbaren Zeittakt (z.B. alle Sekunden) die Größe der magn. Induktion (mit 3 zueinander senkrecht stehenden Spulen) und speichert diese Meßwerte im internen Speicher ab, nach Beendigung der Messung können diese Meßwerte ausgewertet werden. Trägt eine Person dieses Gerät am Körper, so bekommt man ein Bild welchen magn. Wechselfeldern diese Person ausgesetzt war. (Beispiele: Arbeiter in Schaltanlagen, Menschen in Wohnungen über Verteiltransformatoren)
- Feldspule mit nachgeschaltetem aktiven Entzerrer: Frequenzbereich 10 Hz - 200 kHz

\* **Meßgeräte zur Messung elektrischer Felder**

- AERITALIA-Sonde TE 307: 10 V/m - 10 kV/m, zur Messung des elektrischen Feldes im Bereich von Hochspannungsfreileitungen und Schaltanlagen
- COMBINOVA EFM 200: zur Messung der elektrostatischen Aufladung von Bildschirmen und zur Messung von elektrischen Wechselfeldern bis 400 kHz
- Feldmühle EFM 251 (Kleinwächter): zur Messung von elektrischen Gleichfeldern

\* **Registriereinrichtungen**

- 1-Kanalschreiber (Bruel u. Kjaer)
- 3-Kanalschreiber SE 430 (ABB Goerz)
- 6-Kanalschreiber SE 460 (ABB Goerz)

Zusammen mit den Magnetfeldmeßgeräten zur Langzeitaufzeichnung (Stunden, Tage) von Magnetfeldern zur Erfassung des EMV-Klimas.