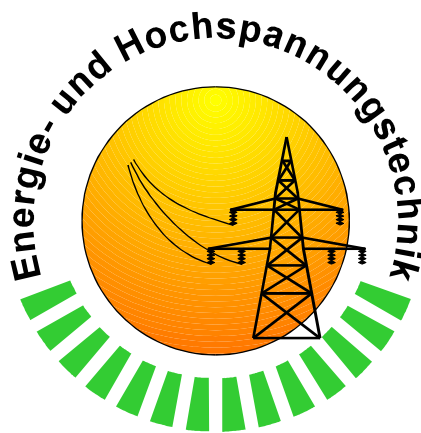


Jahresbericht 2002

Professur Energie- und Hochspannungstechnik



Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Kontakt:

Adresse:

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Professur für Energie- und Hochspannungstechnik
09107 Chemnitz

Dienstszitz:

Reichenhainer Str. 70
A.-F.-Weinholdbau, Zi. 235
09126 Chemnitz
Tel.: +49 371 531 3343
Fax: +49 371 531 3376

Homepage:

<http://www.infotech.tu-chemnitz.de/~eneho/index.html>

Telefon, Fax, e-mail:

| Name: | Telefon: | Fax: | e-mail: |
|------------------------------|------------------|------------------|--|
| Prof. W. Schufft | +49 371 531 3343 | +49 371 531 3376 | wolfgang.schufft@e-technik.tu-chemnitz.de |
| Prof. D. Amft | +49 371 531 3340 | +49 371 531 3376 | dietrich.amft@e-technik.tu-chemnitz.de |
| Sekretariat: A. Wickleder | +49 371 531 3342 | +49 371 531 3376 | angelika.wickleder@infotech.tu-chemnitz.de |
| Prof. W. Hiller | +49 371 531 3340 | +49 371 531 3376 | werner.hiller@e-technik.tu-chemnitz.de |
| M. Bodach | +49 371 531 3587 | +49 371 531 3335 | mirko.bodach@e-technik.tu-chemnitz.de |
| F. Schreiter | +49 371 531 3251 | +49 371 531 3335 | frank.schreiter@e-technik.tu-chemnitz.de |
| D. Breitfeld | +49 371 531 3364 | +49 371 531 3335 | dieter.breitfeld@e-technik.tu-chemnitz.de |
| A. Große | +49 371 531 3345 | +49 371 531 3335 | albrecht.große@e-technik.tu-chemnitz.de |
| U. Jilek | +49 371 531 3251 | +49 371 531 3335 | uwe.jilek@hrz.tu-chemnitz.de |
| K. Mehlhorn | +49 371 531 3345 | +49 371 531 3335 | klaus.mehlhorn@e-technik.tu-chemnitz.de |
| H. Mehlich | +49 371 531 3587 | +49 371 531 3335 | heiko.mehlich@e-technik.tu-chemnitz.de |
| D. Werner | +49 371 531 3364 | +49 371 531 3335 | dirk.werner@e-technik.tu-chemnitz.de |
| J. Lippold | +49 371 531 3341 | +49 371 531 3335 | juergen.lippold@e-technik.tu-chemnitz.de |
| M. Stark | +49 371 531 3364 | +49 371 531 3335 | michael.stark@e-technik.tu-chemnitz.de |
| A. Stark | +49 371 531 3625 | +49 371 531 3335 | |

Redaktion: Frank Schreiter

Sehr geehrte Freunde und Partner,

mit dem Ende des Jahres 2002 kann ich auf 1000 Tage meiner Tätigkeit an der TU Chemnitz zurückblicken. Was wurde also in dieser Zeit erreicht?

Die Umgestaltung der Lehrinhalte ist abgeschlossen und mit der neuen Studienordnung, die zum Beginn des Wintersemesters in Kraft getreten ist, verbindlich. Der Schwerpunkt liegt nun in der weiteren Optimierung der Praktika in den Pflicht- und Wahlpflichtfächern, insbesondere der Integration moderner Steuer-, Meß- und Rechentechnik.

Die gerätetechnische Ausstattung der Professur konnte komplettiert werden. Dazu sind die für Praktika, Dauerversuche und Prüfungen vorgesehenen Räumlichkeiten grundlegend umgestaltet worden und vermitteln nun einen im wahrsten Sinne des Wortes „neuen Eindruck“. Sie sind hiermit herzlich eingeladen, sich von diesem neuen Eindruck zu überzeugen.

Mit dieser Ausstattung sind nun vielfältige Untersuchungen und Prüfungen an Mittelspannungskomponenten sowie insbesondere auch an Nieder- und Mittelspannungsschaltern möglich. Unser Dienstleistungsangebot (Abschnitt 10) vermittelt einen Eindruck der vorhandenen Möglichkeiten. Chemnitz ist damit zu einem, wenn auch bescheidenen Hochspannungsstandort geworden.

Die Arbeit mit Forschungspartnern konnten wir über die Jahre kontinuierlich fortführen. Gemessen an den erwirtschafteten Drittmittelsummen haben wir gar eine leicht steigende Tendenz zu verzeichnen. An dieser Stelle sei den Firmen Moeller GmbH, Stadtwerke Chemnitz AG, enviaM, ESAG sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihr Vertrauen und für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Vor uns steht die zwingende Umstrukturierung des Unternehmens Sächsische Hochschullandschaft, die uns mit Sicherheit betreffen wird. Leider ist hier außer der kontinuierlichen und drastischen Reduzierung der Haushaltsmittel bislang kein konstruktiver Lösungsansatz der Politik erkennbar.

Für das kommende Jahr wünsche ich Ihnen, auch im Namen der Mitarbeiter der Professur, viel Glück, Erfolg und persönliches Wohlergehen und freue mich auf eine weitere, gute Zusammenarbeit.

Chemnitz, Dezember 2002



W. Schufft

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Personelle Besetzung | 5 |
| 2. | Einige „Geschäftszahlen“ | 6 |
| 3. | Lehre..... | 10 |
| 4. | Forschungsschwerpunkte | 15 |
| 4.1 | Zustandsbewertung von Betriebsmitteln der Energieversorgung..... | 15 |
| 4.2 | Grundlagenuntersuchungen an Nieder- und Mittelspannungsschaltgeräten | 16 |
| 4.3 | Netzeinbindung und Energiemanagement für regenerative Energiequellen..... | 16 |
| 4.4 | Simulation und Optimierung von Hochspannungserzeugern..... | 17 |
| 4.5 | Aktuelle Aufgabenstellungen der Energieversorgung resultierend aus den neuen Marktbedingungen | 18 |
| 5. | Studienarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen..... | 19 |
| 5.1 | Studienarbeiten..... | 19 |
| 5.2 | Diplomarbeiten..... | 23 |
| 5.3 | Dissertationen..... | 25 |
| 6. | Veröffentlichungen..... | 29 |
| 6.1 | Fachaufsätze | 29 |
| 6.2 | Vorträge, Poster..... | 30 |
| 6.3 | Sonstige..... | 31 |
| 6.4 | Presse (Beispiele)..... | 32 |
| 7. | Externe Aktivitäten und Kontakte..... | 34 |
| 7.1 | Konferenzen, Tagungen, Kolloquien..... | 34 |
| 7.2 | Exkursionen | 35 |
| 7.3 | Gäste | 37 |
| 8. | Höhepunkte sozialer Art..... | 38 |
| 9. | Ausstattung mit Prüf- und Meßtechnik | 40 |
| 9.1 | Hochspannungs- und Hochstromlabor..... | 43 |
| 9.2 | Gerätelabor | 44 |
| 9.3 | Vakuummessplatz | 45 |
| 9.4 | Software..... | 45 |
| 10. | Dienstleistungen | 46 |
| | Grundkonzeption der Professur | 47 |
| | Anfahrtskizze | 48 |

1. Personelle Besetzung

- **Leiter der Professur:**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schufft

- **Emeritus:**

Prof. em. Dr.-Ing. habil. Dietrich Amft

- **Oberassistent**

Prof. Dr.-Ing. Werner Hiller

- **Sekretariat:**

Frau Angelika Wickleder

- **Wissenschaftliche Mitarbeiter:**

Etatstellen:

Dipl.-Ing. Mirko Bodach
Dipl.-Ing. Frank Schreiter

Drittmittelstellen:

Dipl.-Ing. Dieter Breinfeld
Dipl.-Ing. Albrecht Große (seit 01.07.2002)
Dipl.-Ing. Uwe Jilek
Dipl.-Ing. Klaus Mehlhorn (seit 01.08.2002)
Dipl.-Ing. Heiko Mehlich (seit 19.08.2002)
Dipl.-Ing. Jens Reichel (bis 30.06.2002)
Dipl.-Ing. Dirk Werner

Stipendiaten:

Dipl.-Ing. Heiko Mehlich (bis 18.08.2002)
Dipl.-Ing. Roberto Mendez (vom 01.08.2002 bis 31.12.2002)
Dipl.-Ing. Jörg Scheffler (bis 31.03.2002)

- **Technische Angestellte:**

Herr Jürgen Lippold
Herr Michael Stark

- **Mechanische Werkstatt:**

Drittmittelstelle:

Frau Anett Stark

2. Einige „Geschäftszahlen“

Als Bilanz über eine dreijährige Tätigkeit seien an dieser Stelle einmal einige Geschäftszahlen genannt.

Die Kunden des Unternehmens Universität und des Subunternehmens Professur sind:

1. Studenten
2. Drittmittelgeber

Die Frage nach der Entwicklung der Studentenzahlen wird an einen Hochschullehrer regelmäßig gestellt. Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Chemnitz werden zwei Studiengänge angeboten, Elektrotechnik und Informationstechnik. Die Anfängerzahlen im Studiengang Elektrotechnik seit 1998 sind in der Abbildung 1 dargestellt. In diesem Zeitraum gibt es eine schwache, dafür aber kontinuierliche Steigerung von ca. 4 % pro Jahr.

Nach einem zweijährigen Grundstudium entscheiden sich die Studenten für ein Hauptstudium in einer von fünf Studienrichtungen. Dabei wird die Studienrichtung Elektrische Energietechnik von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich von 10 bis 20 % der Studenten gewählt. Die entsprechenden Zahlen sind ebenfalls in Abbildung 1 ersichtlich.

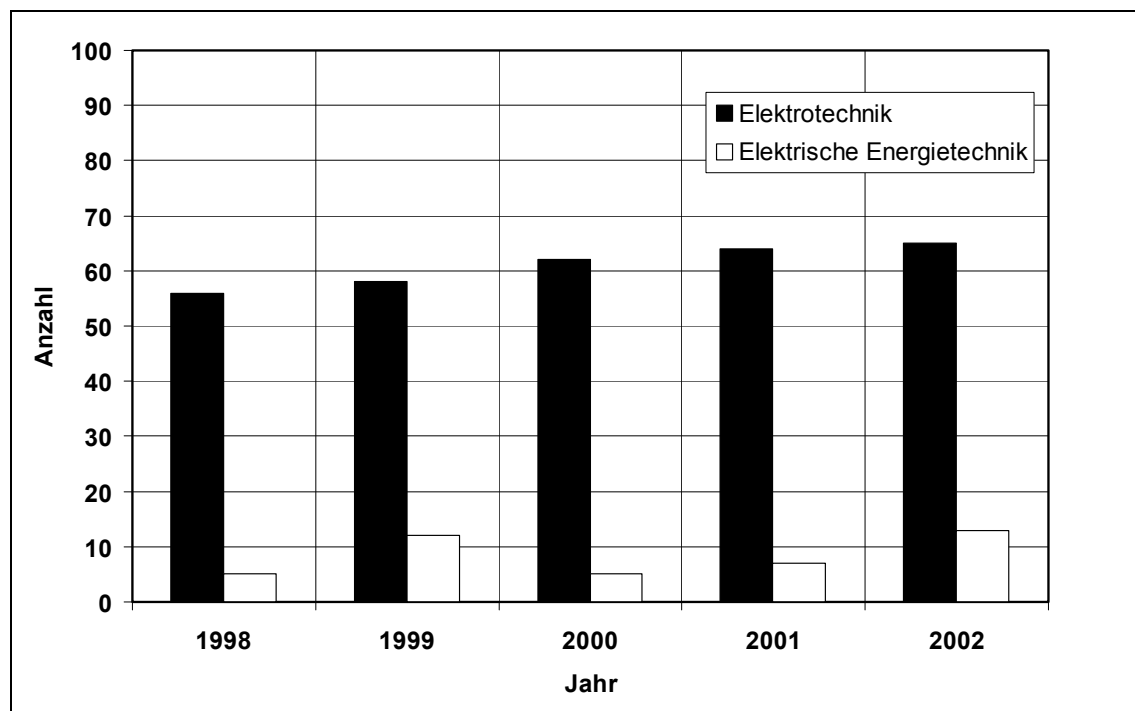


Abb. 1: Entwicklung der Anfängerzahlen im Grundstudium des Studienganges Elektrotechnik und im Hauptstudium der Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Natürlich genießt auch die durch Drittmittel finanzierte Forschung einen hohen Stellenwert. Der Drittmittelbestand der Professur ist in Monatsscheiben für den Zeitraum vom Jahr 1995 bis vorausschauend in das Jahr 2004 in Abbildung 2 dargestellt.

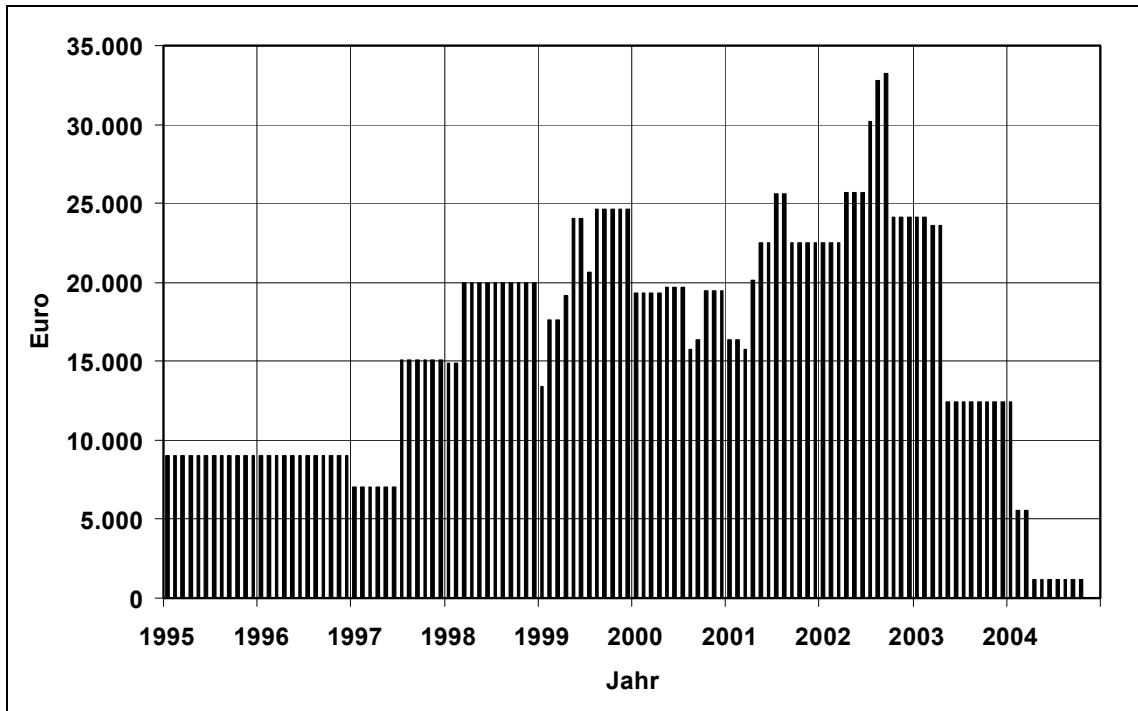


Abb. 2: Drittmittelbestand in Monatsscheiben

Drittmittelgelder, wozu auch Stipendien gehören, werden an der Professur nahezu vollständig als Personalkosten verausgabt. Die Abbildung 3 zeigt die Anzahl der auf Drittmittelstellen tätigen wissenschaftlichen Mitarbeiter und Stipendiaten.

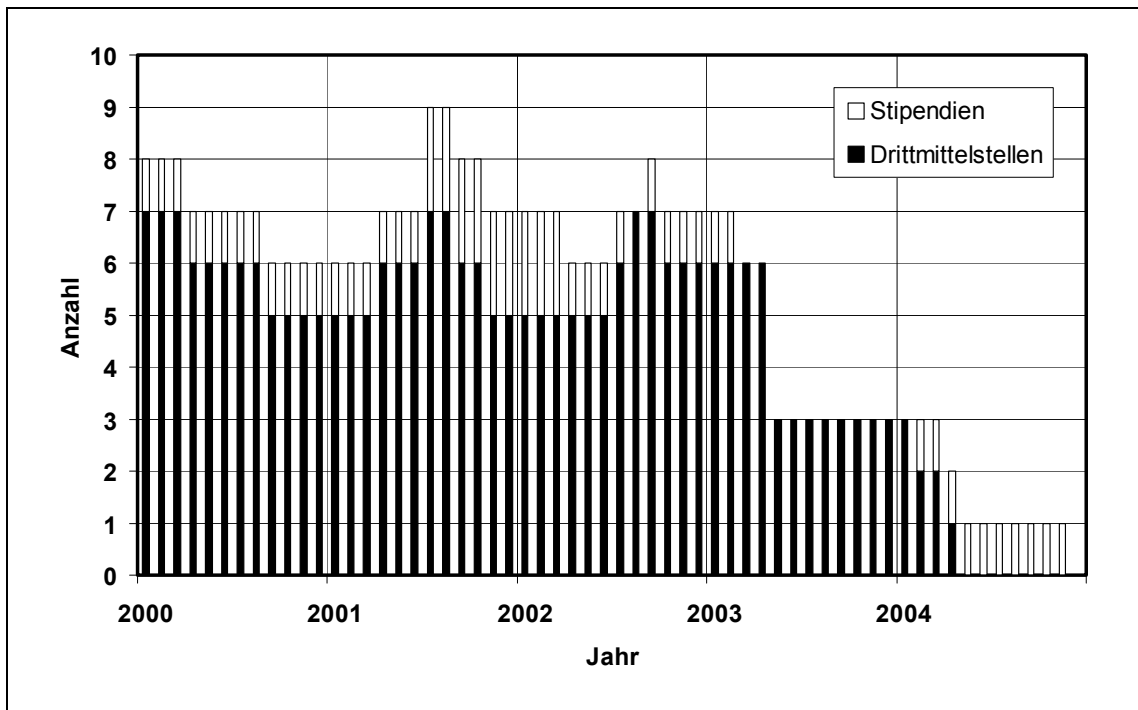


Abb. 3: Drittmittelangestellte und Stipendiaten in Monatsscheiben

In der Abbildung 4 sind die jährlichen erwirtschafteten Drittmittelsummen dargestellt. Der bundesdeutsche Durchschnitt liegt für technische Professuren an Universitäten und Hochschulen derzeit bei ca. 200.000 EURO pro Jahr. Wir hoffen, daß wir für 2003 und 2004 noch einen ähnlich guten Stand erreichen werden.

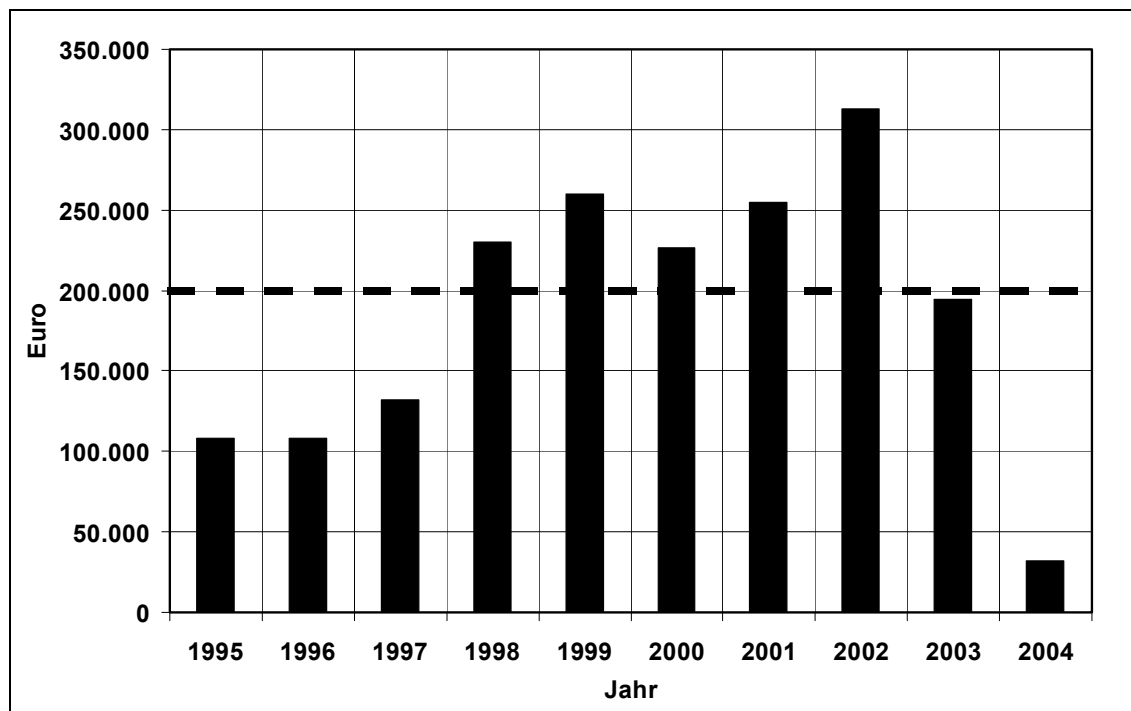


Abb. 4: Jährliches Drittmittelaufkommen

Leider gestaltet sich die Einwerbung von Drittmitteln zunehmend schwieriger. Der Kostendruck in den Unternehmen ist anhaltend hoch, Personal wird abgebaut, so daß natürlich Drittmittelgelder, die ja ausgelagerte Personalkosten darstellen, gestrichen werden. Zudem sind die bürokratischen Bandagen in Sachen Drittmittel im Hochschulwesen nach wie vor äußerst hinderlich. Vor wenigen Tagen war zu erfahren, daß die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ihre Mittel für 2003 auf dem Stand von 2002 einfrieren muß, d.h. hier real eine Kürzung hinzunehmen ist. Auch könnte die Brüsseler Forderung nach der Erhebung von Mehrwertsteuern auf Drittmittel bei den verantwortlichen Bundespolitikern schon bald auf offene Ohren stoßen.

Welche Voraussetzungen existieren nun zur Realisierung der anstehenden Aufgaben? Die personelle Besetzung der Professur beinhaltet eine unbefristete und zwei befristete wissenschaftliche Planstellen. Erfreulicherweise ist mein Amtsvorgänger, Herr Prof. D. Amft noch als Emeritus aktiv tätig. Die Stammbesetzung wird durch eine Sekretärin und zwei Techniker komplettiert, siehe auch Abschnitt 1.

Zur Deckung der „Betriebskosten“ stehen Haushaltsmittel zur Verfügung, deren Höhe und Entwicklung in Abbildung 5 dargestellt ist. Hier waren in den letzten beiden Jahren Kürzungen durch Haushaltssperren wirksam. Diese Haushaltsmittel reichen gerade zur Deckung des Bedarfs an Büromaterial und anderer kleinerer Unkosten.

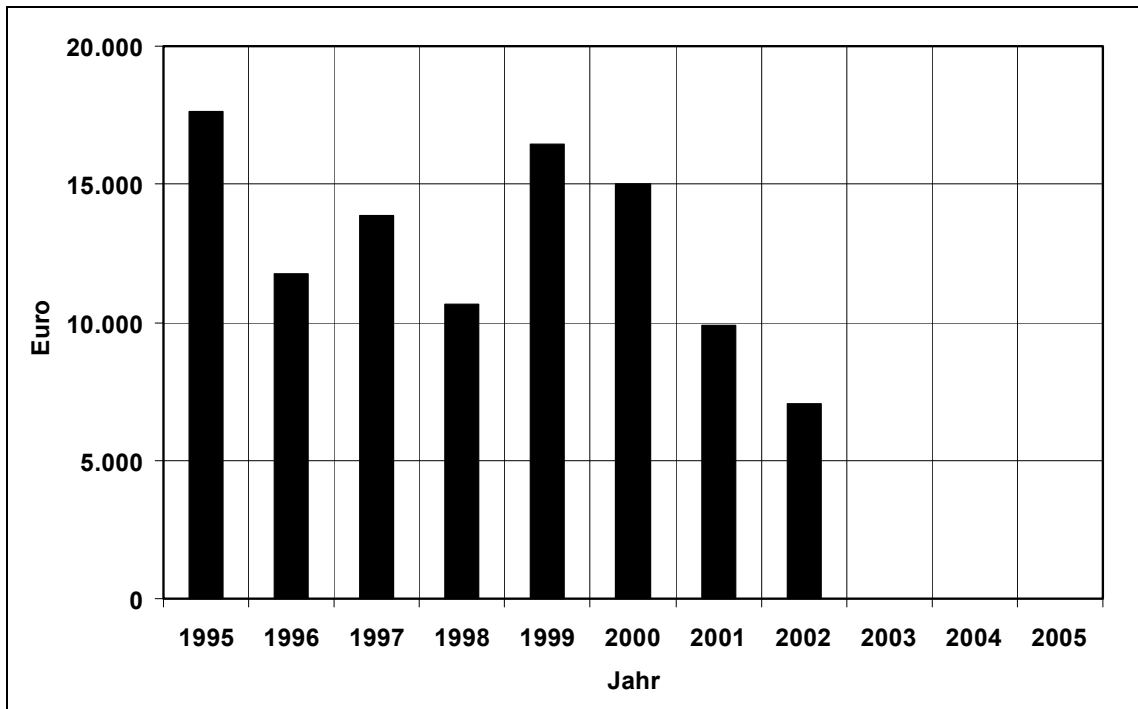


Abb. 5: Entwicklung der Haushaltsmittel

Sehr erfreulich haben sich hingegen die Investitionen in die Ausstattung der Professur in den letzten drei Jahren entwickelt, siehe Abbildung 6. Mit diesen Mitteln konnte die gerätetechnische Ausstattung der Professur komplettiert und modernisiert werden, insbesondere die Steuer-, Meß- und Rechentechnik. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank für Großzügigkeit und wohlwollende Unterstützung den Kanzlern Dr. Rehlein und Alles sowie den Dekanen Prof. Ebest und Prof. Dötzel.

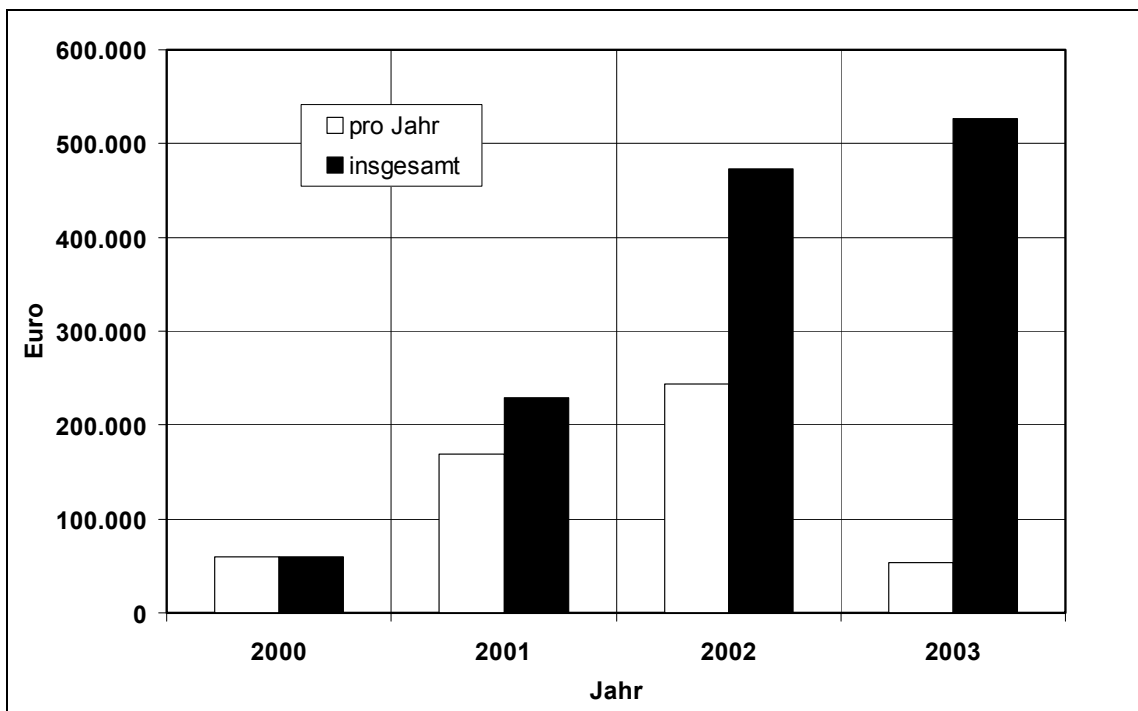


Abb. 6.: Investitionen in die Ausstattung der Professur

3. Lehre

Abfolge der Lehrfächer im Studiengang Elektrotechnik:

| Lehrfach | Verantwortlicher | Semester | | | | | |
|---|------------------|----------|---|-------|-------|-------|-------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Pflichtfächer: | | | | | | | |
| Elektrische Energietechnik | Hofmann, Schufft | 2 1 0 | | | | | |
| Hochspannungstechnik | Schufft | | | 3 1 0 | 0 0 2 | | |
| Elektroenergieübertragung und -verteilung | Schufft | | | | 3 1 0 | 0 0 2 | |
| | | | | | | | |
| Wahlpflichtfächer: | | | | | | | |
| Beanspruchung von Betriebsmitteln | Schufft | | | | | 3 1 0 | 0 0 1 |
| Statistik und Isolationskoordination | Schufft | | | | | | 2 1 0 |
| | | | | | | | |
| Wahlfächer: | | | | | | | |
| Energie- und Umwelt | Hiller | | | | 2 0 0 | | |
| Solare Energietechnik I | Ebest, Hiller | | | | 2 1 0 | | |
| Solare Energietechnik II | Ebest, Hiller | | | | | 2 0 1 | |
| Betriebsmittel der Elektroenergieversorgung | Hiller | | | | | 2 0 0 | |
| Digitale Schutz- und Leittechnik | Hiller | | | | | 2 1 0 | |
| Elektroenergiewirtschaft | Menke | | | | | | 1 0 0 |
| Diagnose- und Meßtechn. | Schufft | | | | | | 2 0 0 |
| Netzberechnung | Hiller | | | | | | 2 0 0 |

Abfolge der Lehrfächer im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen:

| Lehrfach | Verantwortlicher | Semester | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|----------|---|-------|-------|---|-------|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Pflichtfächer: | | | | | | | |
| Elektrische Energietechnik | Hofmann, Schufft | 2 1 0 | | | | | |
| Energie- und Hochspannungstechnik | Schufft | | | 2 1 0 | 0 0 1 | | |
| | | | | | | | |
| Wahlfächer: | | | | | | | |
| Energie- und Umwelt | Hiller | | | | | | 2 0 0 |
| Solare Energietechnik I | Ebest, Hiller | | | | | | 2 1 0 |

Beschreibung der Lehrfächer:

Elektrische Energietechnik

Pflichtfach im Studiengang Elektrotechnik im Grundstudium, 3. Semester;
Pflichtfach im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen - Studienrichtung Elektrotechnik, 3. Semester

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übung / 0 Praktikum (3. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann / Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Energiebegriff, Energieerzeugung in Wärmekraftwerken, Regenerative Energiequellen, Netze der Elektroenergieübertragung und -verteilung, Energieanpassung mit Transformatoren, Energieumwandlung mit rotierenden Maschinen, Leistungselektronische Komponenten und Grundsaltungen

Hochspannungstechnik

Pflichtfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 3 Vorlesungen / 1 Übung (5. Sem.)/ 2 Praktikum (6. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Beanspruchungen von Isolierungen, Erzeugung hoher Spannungen, Klassifizierung und Berechnung des elektrischen Feldes, Entladungsphysik von Gasen, flüssigen und festen Isolierstoffen

Elektroenergieübertragung und -verteilung

Pflichtfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 3 Vorlesungen / 1 Übung (6. Sem.) / 2 Praktikum (7. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Aufbau, Struktur und Komponenten des Elektroenergiesystems, wichtige Berechnungsgrundlagen (wie symmetrische Komponenten) und deren Anwendung auf ausgewählte Elemente des Elektroenergiesystems

Beanspruchung von Betriebsmitteln

Wahlpflichtfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 3 Vorlesungen / 1 Übung (7. Sem.)/ 1 Praktikum (8. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Klassifizierung und Beschreibung der Beanspruchungen von Betriebsmitteln durch innere und äußere Überspannungen, Wanderwellen, Lichtbögen und Kurzschlußströme, Auslegung und Wirkprinzipien von Betriebsmitteln, insbesondere von Schaltern

Statistik und Isolationskoordination

Wahlpflichtfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übungen / 0 Praktikum (8. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Statistische Verteilungsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung des Isoliervermögens, Planung von Hochspannungsprüfungen und Testverfahren zum Nachweis der Unabhängigkeit von Meßreihen, Grundzüge der Isolationskoordination, Grundbegriffe der Zuverlässigkeit einschließlich deren Berechnung

Energie und Umwelt

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übungen / 0 Praktikum

(im Sommersemester, empfohlen für 6. Semester)

Wahlfach im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen - Studienrichtung Elektrotechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übung / 0 Praktikum

(im Sommersemester empfohlen für 8. Semester)

Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: Kausale Zusammenhänge zwischen Energiegewinnung und Umweltbelastung, nachhaltige Entwicklung, globale Energievorräte, Primär- und Endenergieträger, Entwicklung des Energiebedarfs, Energie und Ernährung, Energie und industrielle Entwicklung, Endenergieträger Strom, Energieversorgung, rationeller Energieeinsatz und Energiemanagement

Solare Energietechnik I

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik (gemeinsam mit der Professur Elektronische Bauelemente)

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übung / 0 Praktikum

(im Sommersemester, empfohlen für 6. Semester)

Wahlfach im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen - Studienrichtung Elektrotechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übung / 0 Praktikum

(im Sommersemester empfohlen für 8. Semester)

Prof. Dr.-Ing. Ebest, Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: regenerative Energiequellen, Grundlagen und Anwendungen der solaren Energietechnik, Theorie und Technologie von Solarzellen, Komponenten photovoltaischer Anlagen, Verbraucher in photovoltaischen Systemen, Anpassung photovoltaischer Energie, Projektierung und Betriebsführung photovoltaischer Systeme

Solare Energietechnik II

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik (gemeinsam mit der Professur Elektronische Bauelemente)

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übung / 1 Praktikum
(im Wintersemester, empfohlen für 7. Semester)

Prof. Dr.-Ing. Ebest, Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: solare Energie, Vertiefung zur Theorie, Technologie und Technik solarer Energiesysteme, Solarzellen II, Energiespeicher, Windenergieanlagen, Wasserstofftechnik und Brennstoffzelle, solarthermische Komponenten und Anlagen, Praktikumsversuche

Betriebsmittel der Elektroenergieversorgung

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übungen / 0 Praktikum
(im Wintersemester, empfohlen für 7. Semester)

Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: Systematisierung der Betriebsmittel, Detailwissen zum Aufbau und zur Wirkungsweise sowie zum stationären und dynamischen Verhalten von Systemkomponenten: Leitungen, Wandler, Transformatoren, Drosselspulen, Kondensatoren, Schaltanlagen, Stromschienen

Digitale Schutz- und Leittechnik

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übung / 0 Praktikum
(im Wintersemester, empfohlen für 7. Semester)

Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: Auswirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen, Erdungen, Schutzmaßnahmen im Niederspannungsnetz, Schutz im Mittelspannungsnetz, Schutzkriterien und Sensoren, netzformabhängiger Schutz von Kabeln und Freileitungen, Schutz von Transformatoren, Netzbetrieb im Mittelspannungsnetz, Leit- und Fernwirktechnik, Digitale Schutztechnik

Elektroenergiewirtschaft

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 1 Vorlesung / 0 Übungen / 0 Praktikum
(im Sommersemester, empfohlen für 8. Semester)

Dr.-Ing. N. Menke

Inhalt: Grundlagen der Energiewirtschaft, Kosten der Energieversorgung, Investitionsrechnung, Energiepreisbildung, Belastungskurven, Kraftwerkseinsatz und Lastverteilung, wirtschaftlicher Verbundbetrieb, Betriebsmittelauslastung, Least-Cost-Planning, Durchleitung, Marketing und neue wirtschaftliche Aspekte

Diagnose- und Meßtechnik

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übungen / 0 Praktikum
(im Sommersemester, empfohlen für 8. Semester)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Aspekte der Instandhaltung und Qualitätssicherung, Messung des Scheitelwertes der Spannung, Transienten-Meßsysteme, nichtkonventionelle Meßwandler, Teilentladungs- und Verlustfaktor-Meßtechnik, Diagnose und Meßtechnik für Kabel, gasisolierte Schaltanlagen (GIS) und Transformatoren

Netzberechnung

Wahlfach im Studiengang Elektrotechnik, Studienrichtung Elektrische Energietechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 0 Übungen / 0 Praktikum
(im Sommersemester, empfohlen für 8. Semester)

Prof. Dr.-Ing. W. Hiller

Inhalt: Synchronmaschine bei Kurzschluß, Netztopologie, Methoden zur Kurzschlußberechnung im Mittelspannungsnetz (symmetrisch und unsymmetrisch), Lastflußberechnungen, Berechnung von Stich- und Ringnetzen der Mittelspannung, Kurzschlußberechnung in NS-Netzen, Netzberechnung mit ELEKTRA und EMTP

Energie- und Hochspannungstechnik

Pflichtfach im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Elektrotechnik

Umfang: 2 Vorlesungen / 1 Übung (5. Semester) / 1 Praktikum (6. Sem.)

Prof. Dr.-Ing. W. Schufft

Inhalt: Aufbau, Struktur und Komponenten des Elektroenergiesystems, wichtige Berechnungsgrundlagen und deren Anwendung auf ausgewählte Elemente des Elektroenergiesystems, Beanspruchungen und Beschreibung der elektrischen Felder von Isolierungen, Entladungsformen in Gasen, flüssigen und festen Isolierstoffen

4. Forschungsschwerpunkte

4.1 Zustandsbewertung von Betriebsmitteln der Energieversorgung

Den Schwerpunkt dieses Forschungsgebietes bildet die Untersuchung der Isolationsreserven von 10-kV-VPE-Mittelspannungskabelsystemen einschließlich deren Endverschlüssen und Verbindungsgarnituren.

Nach der Konzeption und Inbetriebnahme eines Vor-Ort-Prüfsystems sowie ersten Einsätzen im Jahr 2001 wurden in diesem Jahr ca. 60 Kabelstrecken geprüft und diagnostiziert. Dabei werden insbesondere ausgewählte Teststrecken wiederholten Prüfungen und Diagnosen unterzogen, um deren Alterung und die Schadensakkumulation an ausgeprägten Schwachstellen zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen die Grundlage für die zukünftige Zustandsbewertung von Mittelspannungskabeln unter speziellen Betriebsbedingungen bilden.



Durch eine Vielzahl von Einsätzen konnten vielfältige Erfahrungen mit dem Diagnosesystem gesammelt werden, die Anregungen für eine ständige Optimierung des Systems lieferten. In diesem Zusammenhang war es möglich, ein zweites Meßfahrzeug in Betrieb zu nehmen, in dem die Resonanzdrossel fest eingebaut werden konnte. Auch dieses zweite Fahrzeug ist eine großzügige Spende der ESAG.

Insgesamt ist es gelungen, alle Komponenten des überaus leistungsstarken Vor-Ort-Prüfsystems in zwei Fahrzeuge zu integrieren. Damit verbesserte sich die Mobilität und Flexibilität beim Einsatz erheblich.

Innerhalb dieses Forschungsschwerpunktes wird seit März 2001 ein von der DFG gefördertes Forschungsprojekt bearbeitet. Mit Dank und Freude durften wir erfahren, daß die Förderperiode um ein weiteres Jahr, d.h. bis Juni 2004 verlängert wurde.

Siehe auch: Fachaufsatz Schreiter, ..., Konzeption und Applikation ...
Fachaufsatz Hauschild, ..., The technique of AC on-site testing ...
Vortrag Schreiter, ..., Untersuchungsergebnisse zu ...
Vortrag Schufft, ..., Prüfung und Diagnose zur ...

4.2 Grundlagenuntersuchungen an Nieder- und Mittelspannungsschaltgeräten

Im abgelaufenen Kalenderjahr konnte die vorhandene Prüf- und Meßtechnik zur Untersuchung von Schaltgeräten ergänzt und optimiert werden. Insbesondere sei hier ein Versuchsstand zur Laserdistanzmessung an Schaltkontaktnordnungen und ein automatisierter Versuchsstand zum Nachweis der Spannungsfestigkeit geöffneter Schaltkontaktnordnungen genannt. Die inhaltlichen Ergebnisse der Forschungsarbeit spiegeln sich in einigen Veröffentlichungen wider.

Siehe auch: Fachaufsatz Amft, ..., A short wire explosion as an equivalent ...
Fachaufsatz Amft, ..., Erosion tracks on contacts as an indicator ...

4.3 Netzeinbindung und Energiemanagement für regenerative Energiequellen

Das Forschungsgebiet wurde inhaltlich abgerundet und weiter profiliert. Mit dem Begriff „Dezentrale Energieversorgungstechnologien“ sollen die Schwerpunkte der Tätigkeit und damit auch die Aufgabenstellungen dokumentiert werden:

1. Netzanbindung regenerativer Energiequellen
2. Energiemanagement mit dezentralen Energiequellen
3. Kraft-Wärme-Kopplung mit dezentralen Energiequellen
4. Energiewirtschaft

Zu Schwerpunkt 1 konnte an einem realen Netzbeispiel das dynamische Verhalten von Windkraftanlagen am Netz bei sehr kleinen Schrittweiten simuliert und meßtechnisch bestätigt werden. Außerdem wurde ein Kurzzeitspeichersystem auf der Basis von Doppelschichtkondensatoren entworfen, als Labormuster aufgebaut und erfolgreich getestet.

Im Schwerpunkt 2 wurde die Dissertation Hartig, die im wesentlichen die Methoden für das Energiemanagement einschließlich der Erzeugungsprognose der regenerativen Quellen sowie eine energiewirtschaftliche Bewertung beinhaltet, eingereicht. Weiterhin konnte ein dringend notwendiges Vorhaben, ein Online-Datenpool für die Verwaltung und Visualisierung einer Großzahl von Meßreihen energetischer Primärdaten, fertiggestellt werden. Damit besteht die Möglichkeit, daß verschiedene Nutzer auf eine gemeinsame Datenbank zugreifen und so eine Vielzahl von Primärdaten fluktuierender Netzeinspeiser sowie Verbraucherlastgänge synergetisch genutzt werden können.

Im Schwerpunkt 3 wurden die Eigenschaften von Brennstoffzellensystemen am Niederspannungsnetz (Sensitivitätsanalyse) untersucht, um Energieversorgern Handlungsrichtlinien für den optimalen Einsatz dieser zukunftssträchtigen Energiequelle geben zu können. Weiterhin konnten die ingenieurtechnischen Vorbereitungen für die Integration einer Brennstoffzelle in einem öffentlichen Gebäude abgeschlossen werden. In einem weiteren Projekt wurden die notwendigen Konzepte für die Messung energetischer Parameter an Brennstoffzellensystemen einschließlich Datenfernübertragung erarbeitet und an einer bereits bestehenden Anlage erfolgreich erprobt.

Siehe auch: Studienarbeit Bocklisch, ..., Datenerfassungssystem für ...
 Studienarbeit Vogel, ..., Untersuchungen zum Anschluss von ...
 Diplomarbeit Mehlhorn, ..., Dezentrale Einspeiser ...
 Diplomarbeit Vogel, ..., Untersuchung des Einflusses ...
 Dissertation Hartig, ..., Untersuchungen zur Optimierung ...
 Dissertation Scheffler, ..., Bestimmung der maximal zulässigen...
 Fachaufsatz Bodach, ..., Doppelschichtkondensatoren als ...
 Fachaufsatz Mehlhorn, ..., Dezentrale Einspeiser ...
 Fachaufsatz Bodach, ..., Der Einsatz von Ultra Caps als ...

4.4 Simulation und Optimierung von Hochspannungserzeugern

Die Aktivitäten zu diesem Schwerpunkt beschränken sich derzeit auf das Projekt „Virtual impulse generator“, welches zusammen mit der Firma Ansoft GmbH & Co KG, Chemnitz realisiert wurde. Hierbei handelt es sich um eine interaktive Website, d.h. eine virtuelle Bedienoberfläche, über die die Elemente eines einfachen, einstufigen Stoßkreises variiert werden können, siehe nachfolgende Abbildung 1.

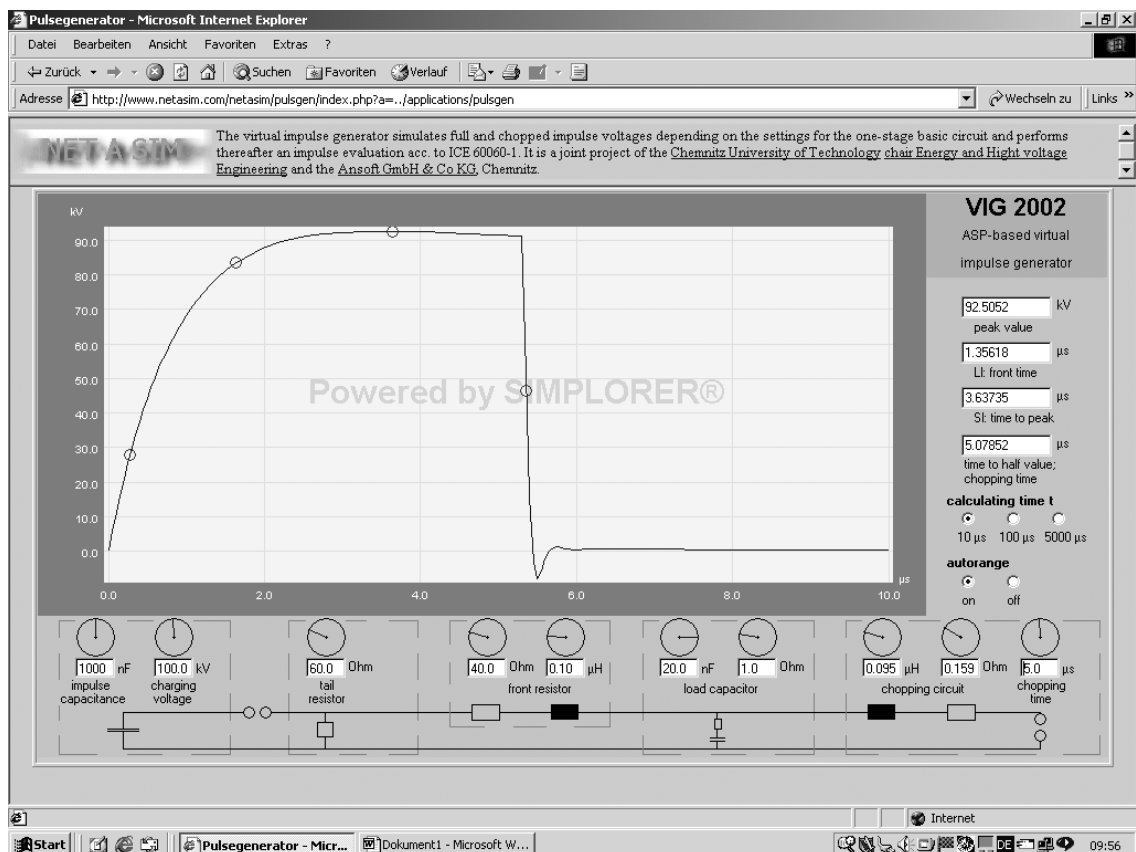


Abb. 1: Bedienoberfläche des virtuellen Impulsgenerators

Mit Hilfe einer Java-Oberfläche wird ein Eingangsdatensatz für die Berechnung des Impulskreises erzeugt, über das Internet zum Server der Firma Ansoft nach Chemnitz übertragen, dort mit dem Netzwerksberechnungsprogramm SIMPLORER berechnet und der Ergebnisdatensatz wieder zum Anwender zurück übertragen. Der resultierende Stoßspannungsimpuls wird anschließend grafisch dargestellt und nach IEC 60060-1 ausgewertet. Der „Virtual impulse generator“ kann sowohl in der Lehre eingesetzt werden als auch im praktischen Prüffeldbetrieb hilfreich sein. Es ist in einem nächsten Schritt beabsichtigt, aus dem berechneten digitalen Impuls ein analoges Impulssignal in Echtzeit zu generieren, welches z.B. als Eingangssignal für Transientenmeßsysteme dienen kann.

Der „Virtual impulse generator“ ist mit dem Internet Explorer über <http://www.netasim.com/netasim> erreichbar und kann ohne Paßwort und Extragebühren benutzt werden. Es entstehen also nur die Kosten für den Internet-Zugang.

Es ist vorgesehen, weitere Grundsatzprobleme der Hochspannungsprüftechnik mit Internet-Technologie einem breiten Nutzerkreis zugänglich zu machen.

4.5 Aktuelle Aufgabenstellungen der Energieversorgung, resultierend aus den neuen Marktbedingungen

Die gegenwärtigen Veränderungen auf dem Gebiet der Elektroenergieversorgung, verursacht durch die Liberalisierung der Energiemärkte, die Auflösung von Versorgungsgebieten, die Aufteilung der gewachsenen Strukturen in Erzeuger, Verteiler (Durchleiter) und Verkäufer sowie die unaufhaltsame Zunahme von dezentralen Einspeisern in der dezentralen Versorgungsstruktur, zwingen die Energieversorgungsunternehmen zu grundlegenden Veränderungen in ihren traditionellen Geschäftsfeldern und zur Aufnahme von neuen Aktivitäten. In diesem Zusammenhang wurden folgende Themenkomplexe bearbeitet:

I Lastprofilermittlung

- Überprüfung und Bewertung des bisherigen synthetischen Verfahrens zur Lastprofilermittlung für definierte Kundengruppen
- Entwicklung und Kalibrierung des analytischen Verfahrens zur Lastprofilermittlung

II Energiewirtschaftliche und energietechnische Probleme

- Energiedatenermittlung und -management
- Einbindung in den Prozeß der Energiebilanzierung
- Instrument zur Erstellung von Fahrplänen für Sondervertragskunden
- Erarbeitung eines Konzeptes für ein Betriebsmittelinformationssystem in Verbindung mit der Erstellung von schematischen Netzplänen

Siehe auch: Studienarbeit Mehlhorn, ..., Lastfluß- und Kurzschlußberechnung ...
Studienarbeit Völler, ..., Modellierung eines allgemeinen ...

5. Studienarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen

5.1 Studienarbeiten

Mehlhorn, K.: „Lastfluß- und Kurzschlußberechnung im Mittelspannungsnetz“, 01/2002

Im Zuge des Rückbaues einer Spannungsebene im Netzgebiet der enviaM erfolgte die Auflösung eines 30-kV-Umspannwerkes. Die betroffenen Kunden werden über teilweise neu verlegte Leitungen von einem entfernter gelegenen 110-kV-Umspannwerk versorgt.

Nach dem Umbau stellte sich heraus, daß im Vorfeld durchgeführte Untersuchungen ungenaue bzw. nicht mehr aktuelle Belastungsdaten zur Grundlage hatten. Infolgedessen kam es bei Sonderschaltzuständen durch Wartungsarbeiten zur Abschaltung von Teilnetzen. In der Studienarbeit wurde das entsprechende Teilnetz mit aktuellen Daten nachgebildet. Auf dieser Grundlage erfolgte eine Analyse des aufgetretenen Fehlers und es wurden Lösungswege zur zukünftigen Vermeidung von Abschaltungen unter Berücksichtigung von Belastungswerten und Spannungsabfällen aufgezeigt.

Die Abbildung 1 zeigt als Ergebnis einer Lastflußrechnung die Spannung an verschiedenen Netzknoten im betrachteten Teilnetz bei der Simulation eines konkreten Schaltzustandes.

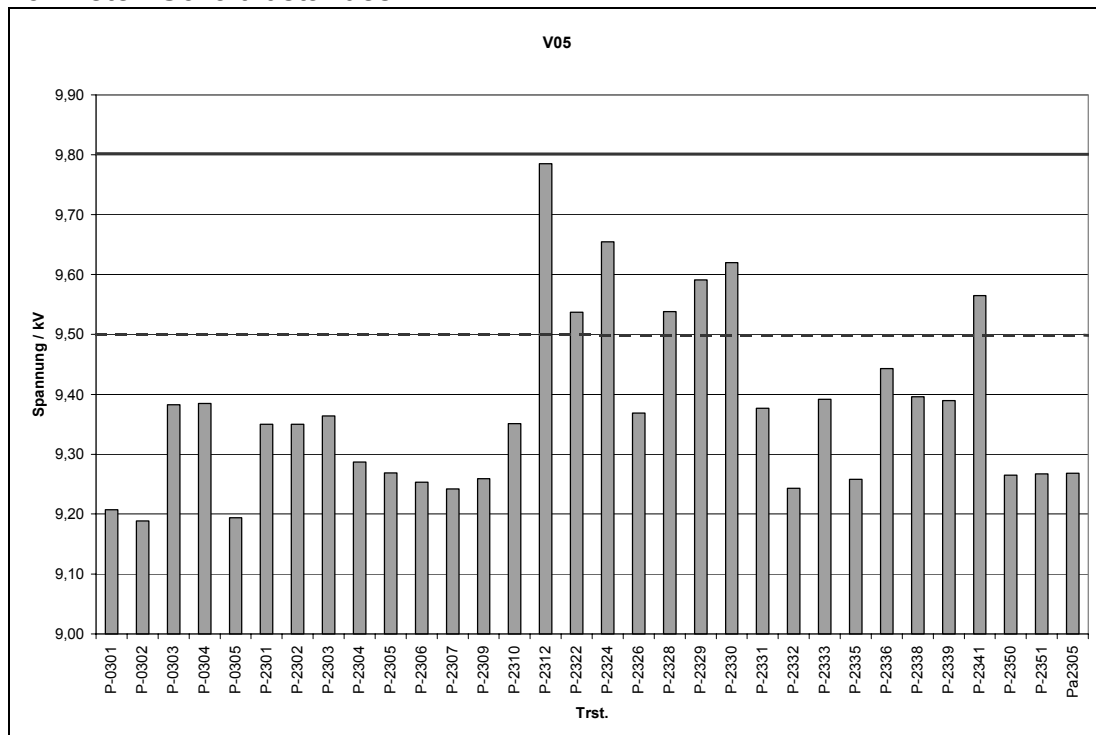
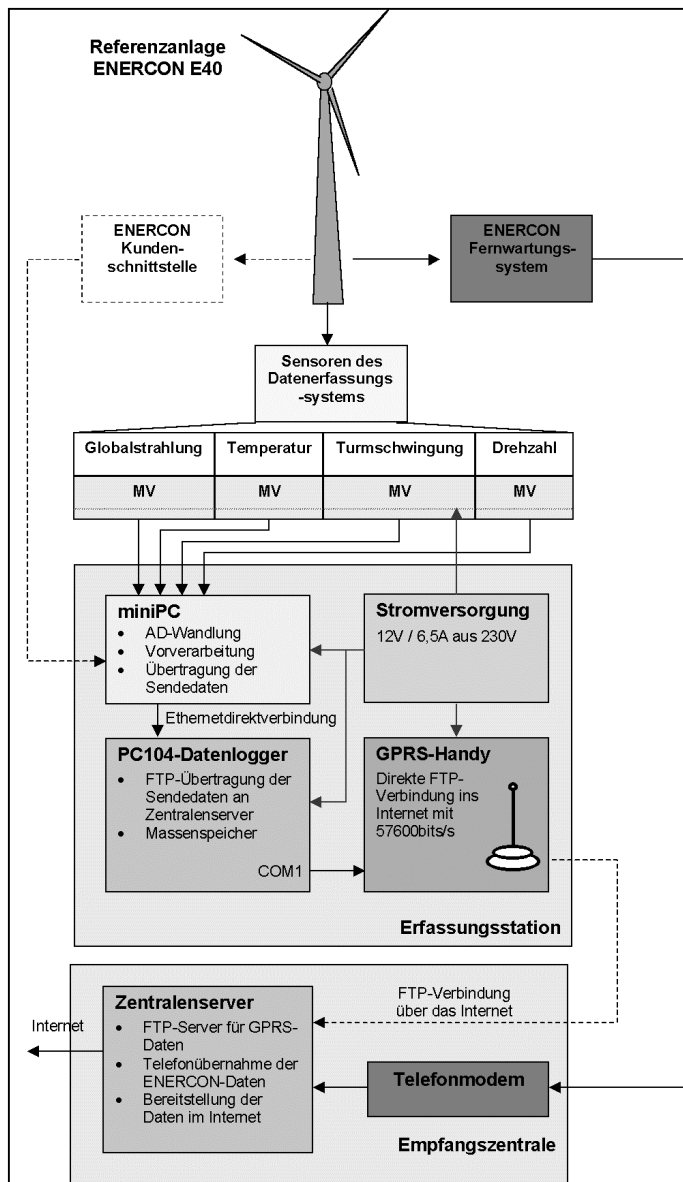


Abb. 1: Spannung an Netzknoten (Beispiel)

Ergänzend erfolgte eine Betrachtung weiterer Probleme im Netz. Diese beinhaltet z.B. die Einhaltung der Abschaltbedingungen bei Kurzschluß und die Einhaltung des garantierten Spannungsbandes im Nennbetrieb und im Fehlerfall.

Für die Überwachung einer Windkraftanlage und vor allem für die optimale Windenergienutzung sind spezielle technische Einrichtungen erforderlich, die weit über die notwendige Standardsteuerung hinausgehen. Ihre Aufgabenbereiche sind das Monitoring (technische Überwachung und Diagnostik) und die optimierte Betriebsführung. Die dabei erfaßten Windenergiedaten können außerdem in eine Prognose der vorausschauend zu erwartenden Windenergie eingehen, was wiederum die Grundlage für ein optimiertes Energiemanagement bildet. Hierzu ist vor allem eine umfangreiche und flexible Meßdatenerfassung notwendig.

Leider stand kein geeignetes Datenerfassungssystem zur Verfügung. Um die umfangreichen Messungen durchführen und auswerten zu können, wurde entschieden, ein eigenes zu konzipieren und zu realisieren.



Die konkreten Aufgaben bestanden nun in der Erarbeitung einer Konzeption für das Datenerfassungssystem (mit Übersichtsschemata) und einem Realisierungsvorschlag an der Referenzanlage ENERCON E40 am Standort Wittgensdorf bei Chemnitz.

Das realisierte Datenerfassungssystem, Prinzipschaltbild siehe Abbildung 1, zeigt Möglichkeiten und Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Meßdaten an Windkraftanlagen auf und kann als Grundlage für Folgeprojekte dienen. Anhand der aufgenommenen Daten und praktischen Erfahrungen mit der Referenzanlage ergaben sich zahlreiche interessante Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen, insbesondere zum Turmschwingungsverhalten.

Abb. 1: Prinzipschaltbild des Datenerfassungssystem

Vogel, M.: „Untersuchungen zum Anschluß von dezentralen Einspeisern an Niederspannungsnetze“, 05/2002

Die Struktur der elektrischen Energieversorgung in Deutschland befindet sich derzeit in einem starken Wandel. Die Liberalisierung der Energiemärkte mit Trennung von Stromhandel und Netzdienstleistungen hat in den letzten Jahren zur Erhöhung des Kostendrucks beim Netzausbau geführt. Die durch verschiedene politische Instrumente geförderte Zunahme an dezentralen Energieversorgungsanlagen - insbesondere unter Nutzung regenerativer Energiequellen sowie der Kraft-Wärme-Kopplung - wird hingegen zu erhöhten Anforderungen an die Verteilungsnetze führen.

Als Grundlage für weiterführende Untersuchungen wurde in der vorliegenden Arbeit die gegenwärtige Situation in der elektrischen Energieversorgung kurz beschrieben sowie Entwicklungstendenzen aufgezeigt.

Eine Hauptaufgabe dieser Studienarbeit bestand darin, eine Systematisierung von Niederspannungsnetzen im Bereich der enviaM vorzunehmen. Durch die Analyse einer Vielzahl von Netzplänen aus dem gesamten enviaM-Gebiet konnte eine Einteilung in acht typische Netzformen vorgenommen werden, wobei jede dieser Formen durch verschiedene Merkmale charakterisiert wurde, wie z.B. Lastdichte, Abnehmerstruktur, Netzausdehnung und typische Betriebsmittel. Stichprobenartige Untersuchungen haben gezeigt, daß die Niederspannungsnetze der enviaM fast ausschließlich als Strahlennetze bzw. verzweigte Strahlennetze betrieben werden.

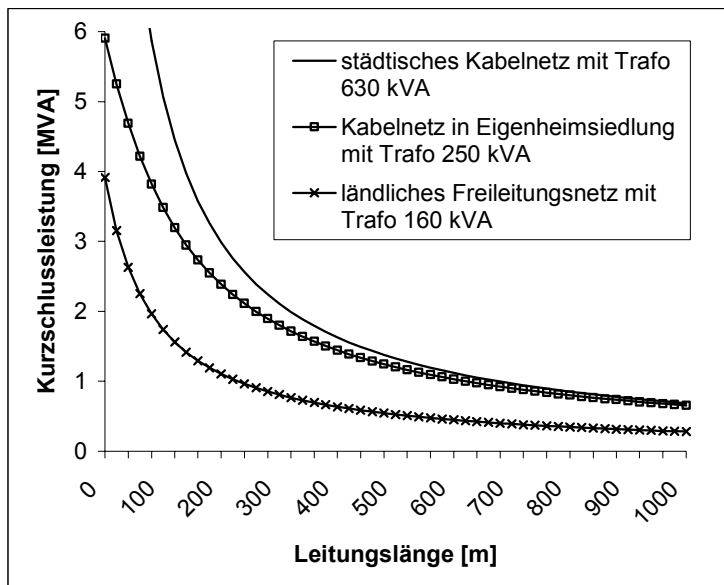


Abb. 1: Verlauf der Netzkurzschlussleistung bei verschiedenen Netzformen

Auf der Grundlage der zuvor erarbeiteten Netzformen wurde eine Charakterisierung der für den Netzanschluß von dezentralen Einspeisern wichtigen Impedanzverhältnisse im Niederspannungsnetz durchgeführt. Die nebenstehende Abbildung zeigt hierzu den Verlauf der Netzkurzschlußleistung innerhalb eines Netzstrahles bei verschiedenen Netzformen. Es konnte festgestellt werden, daß die Höhe der Netzkurzschlußleistung in

unmittelbarer Umgebung der Ortsnetzstation maßgeblich von der Größe des eingesetzten Transformators abhängt, während an weiter entfernten Netzknoten der Einfluß der verwendeten Betriebsmittel (Kabel, Freileitung) dominiert. Schließlich wurde noch das Phänomen der Spannungsanhebung durch dezentrale Energieeinspeisung betrachtet und eine Beurteilung der gegenwärtig bei den Niederspannungsnetzbetreibern üblichen Kriterien für den Netzanschluß von Eigenerzeugungsanlagen vorgenommen.

Derzeit gibt es eine Vielzahl von Speichermodellen für unterschiedliche Simulationszwecke, d.h. spezielle Modelle für Akkumulatoren, für Kondensatoren, Brennstoffzellensysteme usw.. Die grundsätzliche Untersuchung des Einsatzes von Speichern im Niederspannungsnetz erfordert nicht die genaue schaltungstechnische Umsetzung eines bestimmten Speichertyps, sondern die Einbindung verschiedener Typen mit einem universellen, allgemeingültigen Modell. In dieser Studienarbeit wird dazu ein erstes allgemeines Speichermodell entworfen, das die wichtigsten Speichertypen mit ihren Parametern darstellen kann und in verschiedene Simulationsprogramme integrierbar ist.

Als Simulationsprogramm wurde vorerst ATP/EMTP gewählt. Damit sind dynamische als auch langfristige Netzvorgänge dreiphasig simulierbar. Weiterhin ist es möglich, damit eigene spezielle Modelle zu implementieren, so z.B. auch ein allgemeingültiges Speichermodell.

Ziel war, zunächst in einem einfachen Speichermodell eine Last bei Netzunterbrechung durch einen Speicher zu versorgen. Prinzipiell besteht das Modell aus einer Spannungsquelle, einer Impedanz und einem Rechenmodul mit einem internen FORTRAN-Script, siehe Abbildung 1.

Das Speichermodul wird ge- und entladen, indem der fließende Strom und die anliegende Spannung in jedem Simulationsschritt durch das Script ausgewertet wird. Dabei erfolgt eine Energiebilanzierung, womit der Ladezustand des Speichers beschrieben wird. In dieses Script fließen sowohl gemessene Werte als auch Parameter wie maximaler Speicherinhalt, Ladewirkungsgrad, Entladewirkungsgrad, Ruheverluste, Zugriffszeit, minimale Entladung usw. ein. Es lassen sich so beliebige Speichertypen näher spezifizieren. Das Modell ist modular aufgebaut und auf andere Simulationssysteme portierbar und soll im Rahmen einer Diplomarbeit weiter optimiert werden.

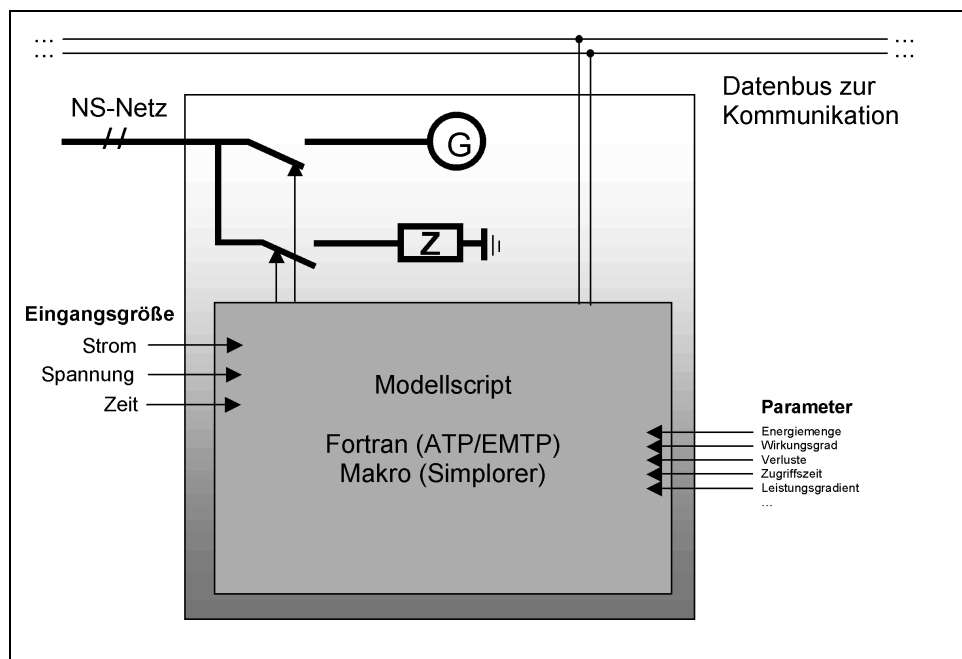


Abb. 1: Prinzipschaltbild des Speichermodells

5.2 Diplomarbeiten

Mehlhorn, K.: „Dezentrale Einspeiser - Auswirkungen im Niederspannungsnetz“, 06/2002

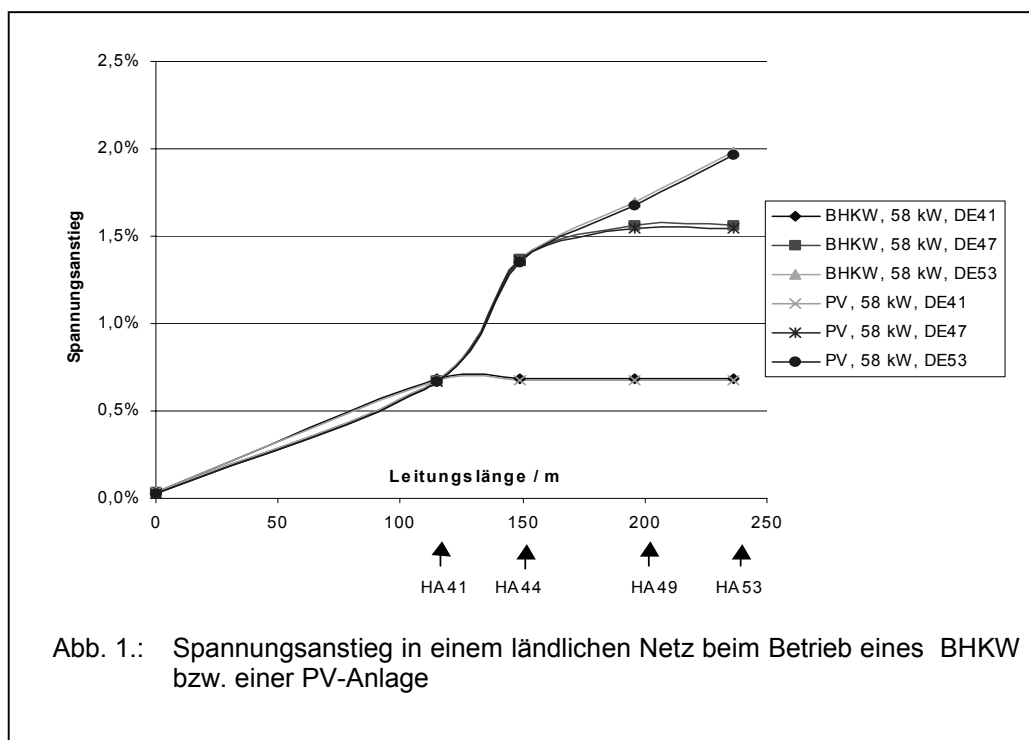
Die Verpflichtung der Bundesrepublik Deutschland, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren und die damit verbundene Förderung kleiner dezentraler Elektroenergieerzeugungsanlagen, läßt einen starken Anstieg dieser dezentral eingespeisten elektrischen Energie erwarten.

In der Diplomarbeit wurde eine Methode entwickelt, diese dezentralen Elektroenergieerzeuger möglichst realitätsnah zu simulieren und deren Auswirkungen im Elektroenergieversorgungsnetz abzuschätzen. Dazu wurde das Netzberechnungsprogramm ELEKTRA benutzt.

Nach der Darstellung der rechtlichen und technischen Grundlagen wurde die Simulation beispielhaft an drei typischen Niederspannungsnetzen ausgeführt und ausgewertet.

Auf Grund der großen Datenmengen erfolgte die Auswertung in Form von Diagrammen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Spannungsanstieg in einem ländlichen Netz beim Betrieb eines Blockheizkraftwerkes und einer Photovoltaikanlage mit jeweils unterschiedlicher Leistung.

Im anschließenden Ausblick wurden einige Hinweise zur Weiterverarbeitung und Verbesserung des Verfahrens gegeben und dessen Grenzen beschrieben. Den Abschluß bildet eine Betrachtung der Möglichkeiten der Lastflußsteuerung im Niederspannungsnetz sowie verschiedener Varianten der Elektroenergiespeicherung und deren Praxistauglichkeit.



Vogel, M.: „Untersuchung des Einflusses dezentraler Energieeinspeisung auf Planung und Betrieb von Niederspannungsnetzen“, 12/2002

Gegenstand dieser Diplomarbeit war die Untersuchung des Einflusses dezentraler Energieeinspeisung im Niederspannungsnetz. Neben der Ermittlung und Darstellung der Auswirkungen auf signifikante Netzgrößen waren Handlungsoptionen aufzuzeigen und zu diskutieren.

Zunächst wurden verschiedene Arten von Eigenerzeugungsanlagen nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung sowie unter Nutzung regenerativer Energiequellen charakterisiert und deren Potentiale für eine mittelfristige Integration in Niederspannungsnetze eingeschätzt.

Nach einer Systematisierung der im Bereich der envia Mitteldeutsche Energie AG vorhandenen Niederspannungsnetze in einer vorangegangenen Studienarbeit gelang es, durch Auswahl von drei repräsentativen Netzen und deren Überführung in ein rechenfähiges Netzabbild eine geeignete Ausgangsbasis für die gezielte Simulation verschiedener Einspeiseszenarien zu schaffen. So konnten anschließend drei Szenarien für die großflächige Integration von Eigenerzeugungsanlagen in Niederspannungsnetze erarbeitet werden, worin die Betrachtung einer Energieeinspeisung durch Photovoltaikanlagen sowie Brennstoffzellen im strom- und wärmegeführten Betrieb erfolgte. Hier wurde speziell auch auf die Möglichkeiten zum Aufbau von dezentralen Energiemanagementsystemen auf der Basis von Brennstoffzellen und anderen kleinen Eigenerzeugungsanlagen eingegangen.



Abb. 1: Verlauf der Netzspannung an einem ca. 700 m langen Netzstrahl im ländlichen Netz bei Einspeisung durch PV-Anlagen mit 4 kW je Hausanschluß

Nach der Untersuchung und Darstellung von Auswirkungen solcher Einspeiseszenarien auf signifikante Netzgrößen, wie z.B. Spannungsqualität, Netzverluste und Betriebsmittelbelastung, konnten Konsequenzen für Bau und Betrieb von Niederspannungsnetzen abgeleitet werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Auswirkung von Photovoltaikanlagen auf die Höhe der Netzspannung abhängig von der Tageszeit.

Zudem wurde ein kostengünstiges und effektives Schutzkonzept für die Betriebsmittel entwickelt, das auch beim Anschluß einer Vielzahl von Eigenerzeugungsanlagen im betreffenden Netzbezirk zuverlässig wirkt. Allein durch Festlegung bestimmter Randbedingungen für die Dimensionierung der Abgangs- bzw. Stromkreiszwischenicherungen im Niederspannungsnetz sowie durch eine schutztechnisch bedingte Limitierung der Einspeiseleistung wird so die Funktion des Überlastungsschutzes gewährleistet.

5.3 Dissertationen

Hartig, R.: „Untersuchungen zur Optimierung des Energiemanagements im Privatkundenbereich“, 03/2002

Gutachter: Prof. Dr. G. Ebest (Betreuer), TU Chemnitz
Prof. Dr. K. Klinger, BTU Cottbus
PD Dr. U. Rindelhardt, Forschungszentrum Rossendorf

Eine optimale Ausnutzung der von dezentralen Erzeugern innerhalb der bestehenden Energieversorgungsstruktur bereitgestellten Energie erfordert besonders bei der Einbindung fluktuierender, regenerativer Energiequellen eine hohe Korrelation zwischen Angebot und Nachfrage. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wie mittels Energiemanagementverfahren ein enger Zusammenhang zwischen dem Energieangebot aus fluktuierenden Energiequellen und der Energienachfrage hergestellt werden kann. Dabei wird ein Optimierungsalgorithmus entwickelt, der die für einen möglichst umfassenden Eigenverbrauch der erzeugten Energie notwendigen Anpassungsschritte ermittelt.

Bei der Analyse von Energieangebot und -nachfrage wird, ausgehend von einer allgemeinen Darstellung, eine auf die Bedürfnisse eines Energiemanagements angepaßte Beschreibung der Energiesituation erarbeitet. Die Anpassung von Energieangebot und -nachfrage erfolgt über die Auswahl spezifischer Verbrauchergruppen und die Ausnutzung der aus den systeminternen Zeitkonstanten resultierenden, möglichen Unterbrechungsdauern. Die Vorgehensweise wird an Hand des Elektroenergieverbrauchs ausgewählter klimatechnischer Anlagen in Verbindung mit einer regenerativen Energieerzeugung auf Basis der Photovoltaik dargestellt.

Im Gegensatz zu den gegenwärtig dominierenden, zentralen Energieerzeugungsanlagen nutzen dezentrale Erzeuger, neben den klassischen Brennstoffen, zunehmend fluktuierende, regenerative Energiequellen, wie Wind und Sonnenstrahlung, die meteorologischen Schwankungen unterliegen, so daß über deren Verfügbarkeit keine gesicherten Angaben gemacht werden können. Die Schaffung von Lösungen zur optimalen Einbeziehung in die übergreifende Energieversorgung ist somit bei einer weiteren Durchdringung des Energiemarktes mit dezentralen Erzeugern dringend notwendig.

Um die Nachteile des fluktuierenden Angebotes ausgleichen zu können, wären Speichertechnologien erforderlich, die aber gerade im mittleren Leistungsbe- reich bisher nicht großtechnisch verfügbar sind.

In Bezug zum Thema dieser Arbeit können die folgenden grundlegenden Fragen definiert werden:

- Ist die dezentrale Nutzung regenerativer Energiequellen im Privatkundenbereich unter heutigen Bedingungen ökologisch und wirtschaftlich überhaupt sinnvoll?
- Kann der ökologische und wirtschaftliche Effekt der dezentralen Nutzung regenerativer Energiequellen gemessen und bewertet werden?

- Was muß gegebenenfalls bei der Nutzung regenerativer Energiequellen beachtet werden, um einen wirtschaftlichen und ökologisch sinnvollen Betrieb zu ermöglichen?
- Ist eine Optimierung der energetischen Prozesse auch bei Kleinverbrauchern notwendig und sinnvoll und wie sollte dies gegebenenfalls realisiert werden?
- Welche Verbraucher bzw. welche Erzeuger stehen für eine Optimierung der Energieversorgungsstruktur zur Verfügung und wie müssen diese korreliert werden?

Als ein Schritt zur Lösung der genannten Probleme kann der Einsatz eines Energiemanagements gelten. Dieses gewährleistet:

- einen minimalen Primärenergieeinsatz durch optimale Nutzung der regenerativen Energien über eine Anpassung von Angebot und Verbrauch,
- die Erschließung möglichst umfangreicher Energieeinsparungspotentiale,
- einen Verbrauch der regenerativen Energie möglichst an der Stelle der Erzeugung, um unnötige Netzverluste zu vermeiden.

Praktikable Lösungen für ein Energiemanagement für die Vielzahl der möglichen Einsatzfälle sind aber bisher nur sehr unzureichend vorhanden. Die Anbindung der regenerativen Energien zur Energiebezugsoptimierung der Energieversorgungsunternehmen erfolgt bisher nicht. Daraus ergeben sich folgende weitere Arbeitsschritte:

- Erarbeitung einer allgemeingültig strukturierten Konzeption zur Energieoptimierung mittels Energiemanagement. Im Rahmen dieser Arbeit wird dabei vor allem auf die Verbrauchssituation bei Kleinabnehmern wie Haushalte in Verbindung mit dem verstärkten Einsatz regenerativer Energien im unteren Leistungsbereich eingegangen.
- Unterteilung des Energiemanagements in folgende Schritte:
 - Ermittlung des Energieangebotes aus der Bestimmung der Leistungsanteile fluktuierender Energieträger.
 - Bestimmung energetisch relevanter Randparameter und meteorologischer Einflußgrößen innerhalb einer Standortpotentialanalyse.
 - Festlegung des Optimierungspotentials über die Bestimmung der zeitlichen Abhängigkeiten und Variationsmöglichkeiten zwischen Angebot und Nachfrage.
 - Ermittlung der Energienachfrage verkoppelter Abnehmerstrukturen und Aufteilung der Verbraucher in Gruppen gleichen Lastverhaltens.

Die Vorgehensweise soll vor allem eine praktische Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit beinhalten. Bei der Ermittlung von Energieangebot und -nachfrage und der Festlegung nachfolgender Optimierungsschritte wird großer Wert auf eine einfache Handhabung sowie ein breites Einsatzspektrum gelegt. Als allgemeines Ziel des Energiemanagements soll die optimale Anpassung zwischen dem Energieangebot fluktuierender, regenerativer Quellen und der Energienachfrage durch Minimierung des Energiebezuges und Verbesserung der strukturellen Anordnung im Privatkundenbereich erreicht werden.

Scheffler, J.: Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlußleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten, 11/2002

Gutachter: Prof. Dr. W. Schufft (Betreuer), TU Chemnitz
Prof. Dr. G. Ebest, TU Chemnitz
Prof. Dr. H. Kindler, HWTS Zittau/Görlitz

Für den Betrieb des öffentlichen Niederspannungsnetzes in Wohnsiedlungsgebieten ist zukünftig mit einem verstärkten Einsatz dezentraler photovoltaischer Energiewandlungsanlagen zu rechnen. In der Arbeit wird dargestellt, wie die maximal zulässige Netzanschlußleistung derartiger Anlagen für Niederspannungs-Netzbezirke bestimmt werden kann. Dazu wird ein Verfahren auf der Grundlage der Modellierung der Struktur von Netzbezirken, der dort auftretenden Belastungen und Einstrahlungssituationen vorgestellt und demonstriert. Die maximal zulässige Netzanschlußleistung dezentraler photovoltaischer Energiewandlungsanlagen wird wesentlich durch die Siedlungsstruktur des betreffenden Niederspannungs-Netzbezirkes bestimmt. Durch Modifikation des Erzeugermodells kann das Verfahren auch für andere dezentrale Kleinerzeuger im Niederspannungsnetz angewandt werden.

Photovoltaikanlagen unterscheiden sich hinsichtlich des Tages- und Jahresganges der erzeugten elektrischen Leistung und des kumulativen Verhaltens der in einem Gebiet installierten Anlagen grundlegend von Lastgängen der Netznutzer. Anstelle des ausschließlichen Bezuges elektrischer Energie tritt mit dem netzparallelen Betrieb einer Vielzahl derartiger Anlagen an Wohngebäuden in Siedlungsgebieten eine zeitweise Umkehr der Leistungsflußrichtung an den Hausanschlüssen der Netznutzer und in den Niederspannungs-Netzbezirken auf. Bei hohen installierten photovoltaischen Leistungen verlagert sich der Zeitpunkt der maximalen Netzbelastung vom klimatisch günstigsten Zeitpunkt im Winter in den klimatisch ungünstigsten Zeitpunkt in die Mittagszeit sonniger Sommertage.

Durch die gleichzeitige Abnahme und Rückspeisung elektrischer Energie wird die Möglichkeit der Informationsbereitstellung für Aufgaben des Netzbetriebes und des Netzschutzes eingeschränkt. Dies gilt besonders für die zukünftig im Niederspannungsnetz vorgesehene Netzstruktur mit verzweigten Strahlen ohne den Einsatz von Kabelverteilerschränken.

Unter den genannten Vorzeichen war es erforderlich eine ingenieurwissenschaftliche Methode zu entwickeln, in der die zulässige Anschlußleistung für Photovoltaikanlagen in Wohnsiedlungsgebieten bestimmt werden kann. Dabei sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- (1) Anwendbarkeit auf vorhandene und auf nach heutigen Planungsgrundsätzen aufzubauend Niederspannungs-Netzbezirke
- (2) Aufgrund der Vielzahl potentieller Erzeuger sind aus Aufwandsgründen Einzelfallberechnungen oder -messungen sowie die Erhebung oder Bearbeitung umfangreicher, nicht beim Netzbetreiber vorliegender Daten auszuschließen
- (3) Den Nutzern des Netzbezirkes ist eine gleiche zulässige Anschlußleistung zur Verfügung zu stellen

Die dargestellte Aufgabe wird wie folgt bearbeitet. Zunächst werden Kriterien abgeleitet, nach denen die in ihrer Struktur vielfältigen Niederspannungs-Netzbezirke analysiert und beschrieben werden können. Dazu werden Zusammenhänge zwischen der Netz- und der Siedlungsstruktur dargelegt und darauf aufbauend reale Niederspannungs-Netzbezirke modelliert.

Zur Modellierung der Lastprofile der Netznutzer werden Kriterien definiert und bewertet, inwieweit vorhandene oder standardisierte Lastprofile eingesetzt werden können. Dabei ist zu prüfen, ob für verschiedene Wohnsiedlungsgebiete differenzierte Lastprofile einzusetzen sind.

Ausgehend von Meßwerten der Globalstrahlung und aufgezeichneten Wetterdaten werden die für Wechselwirkung mit Energieversorgungssystemen in Niederspannungs-Netzbezirken relevanten Einstrahlungssituationen abgeleitet und modelliert. Neben maximalen Globalstrahlungswerten werden auch die Auswirkungen von Einstrahlungswechseln untersucht und einbezogen und mit entwickelten Modellen für Photovoltaikanlagen dann die erforderlichen Erzeugungsprofile erstellt.

Mit Verwendung der erstellten Modelle der Niederspannungs-Netzbezirke, der Last und der Erzeugung wird eine Methode vorgestellt, mit der die zulässige Anschlußleistung für Photovoltaikanlagen bestimmt werden kann. Die am Verknüpfungspunkt mit den Netznutzern und im Niederspannungs-Netzbezirk einzuhaltenden Bedingungen sind darstellbar und die erforderlichen Teiluntersuchungen und Eingabedaten werden erläutert.

Im Ergebnis lassen sich folgende Fragen beantworten:

- (1) Wie hoch ist die zulässige Anschlußleistung für Photovoltaikanlagen auf den Dachflächen von Wohngebäuden im bestehenden Niederspannungsnetz; wodurch wird sie beeinflusst und begrenzt?
- (2) Welche Konsequenzen ergeben sich für die Spannungsqualität, den Netzbetrieb und die Verluste in den Niederspannungs-Netzbezirken?
- (3) Welche Möglichkeiten bestehen zur Erhöhung der zulässigen Anschlußleistung?
- (4) In welchem Maß kann die installierte Leistung von Photovoltaikanlagen als gesichert verfügbare Leistung in das Energiemanagement einbezogen werden?
- (5) Wie kann die dargestellte Methode auf andere mit dem Niederspannungsnetz parallel betriebene, dezentrale Energiewandlungsanlagen angewandt werden?

Dissertationsprojekte

Bodach, M.: Beitrag zum Energie- und Speichermanagement mit fluktuierenden Energiequellen zur Anbindung im Niederspannungsnetz

Schreiter, F.: Bewertung der Isolationsreserven moderner VPE-Mittelspannungskabel

6. Veröffentlichungen

6.1 Fachaufsätze

- Schreiter, F., Schufft, W.: Konzeption und Applikation eines Vor-Ort-Prüfsystems zur Bewertung der Isolationsreserven von Mittelspannungskabelsystemen. ETG-Fachtagung „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“, 26.-27.02.02 Berlin, ISBN 3-8007-2671-8
- Bodach, M., Armann, M., Hiller, W., Schufft, W.: Doppelschichtkondensatoren als Kurzfristspeicher in Photovoltaikanlagen. Fachtagung „Elektrische Energiewandlungssysteme“, 13.-14.03.02 Magdeburg, ISBN 3-929-757-47-8
- Hauschild, W., Coors, P., Schufft, W., Plath, R., Herrmann, U., Polster, K.: The technique of AC on-site testing of HV cables by frequency-tuned resonant test systems. CIGRÉ 2002, 25.-30.08.2002 Paris, paper 33-304
- Amft, D., Wabner, A.: A short wire explosion as an equivalent of contact-splashing at the switch-on process. 21st International Conference on Electrical Contacts, 09.-12.09.02 Zürich, ISBN 3-9522504-0-6
- Amft, D.: Erosion tracks on contacts as an indicator for the arc movement. 21st International Conference on Electrical Contacts, 09.-12.09.02 Zürich, ISBN 3-9522504-0-6
- Mehlhorn, K.: Dezentrale Einspeiser - Auswirkungen im Niederspannungsnetz. 15. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida (IWKM), 08.11.02 Mittweida, ISSN 1437-7624
- Bodach, M., Hiller, W.: Der Einsatz von Ultra Caps als Kurzfristspeicher in PV-Systemen - Probleme und deren Lösung. 15. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida (IWKM), 08.11.02 Mittweida, ISSN 1437-7624

6.2 Vorträge, Poster

- Mehlich, H.: Einsatz einer Brennstoffzelle in einer Technikniederlassung der Deutschen Telekom. Meeting mit Geschäftsleitung der Telekom-Niederlassung Dresden, 15.01.02 Dresden
- Hiller, W.: Solar-Heizen mit der Sonne. Messe Handwerk 2002, Handwerkskammer Chemnitz, 01.02.02
- Hiller, W.: Die Wärmepumpe. Messe Handwerk 2002, Handwerkskammer Chemnitz, 02.02.02
- Hiller, W.: Geregelt Wohnraumbelüftung. Messe Handwerk 2002, Handwerkskammer Chemnitz, 03.02.02
- Schreiter, F., Schufft, W.: Konzeption und Applikation eines Vor-Ort-Prüfsystems zur Bewertung der Isolationsreserven von Mittelspannungskabelsystemen. ETG-Fachtagung „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“, 26.-27.02.02 Berlin
- Bodach, M., Armann, M., Hiller, W., Schufft, W.: Doppelschichtkondensatoren als Kurzfristspeicher in Photovoltaikanlagen. Fachtagung „Elektrische Energiewandlungssysteme“, 13.-14.03.02 Magdeburg
- Schufft, W.: Herausforderungen an die elektrische Energietechnik. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Chemnitz, 18.04.02
- Schufft, W.: Vor-Ort-Prüfsysteme zur Bewertung der Isolationsreserven von VPE-Mittelspannungskabelsystemen. Stadwerketreffen, 16.05.02 Chemnitz
- Schreiter, F., Jilek, U., Schufft, W.: Untersuchungsergebnisse zu Isolationsreserven von verlegten 10-kV-VPE Kabelstrecken. DFG-Zwischenberichts-kolloquium, 27.-28.05.02 Darmstadt
- Schufft, W.: Challenges for electrical power-engineering. Westböhmisches Universität Pilsen, 25.-26.06.02
- Mehlhorn, K.: Dezentrale Einspeiser - Auswirkungen im Niederspannungsnetz. 15. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida (IWKM), 08.11.02 Mittweida
- Bodach, M., Hiller, W.: Der Einsatz von Ultra Caps als Kurzfristspeicher in PV-Systemen - Probleme und deren Lösung. 15. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida (IWKM), 08.11.02 Mittweida
- Mehlich, H.: Entwicklungstendenzen von Brennstoffzellen. Tagung „Wärmepumpeninitiative“, 09.11.02 Potsdam
- Neubert, A.: Grundlagen der Brennstoffzellentechnik. Vorstellung des Brennstoffzellenprojektes der Stadtwerke Chemnitz, 13.11.02 Chemnitz
- Mehlich, H.: Brennstoffzellen. Schülerforum „Regenerative Energie“, 13.12.02 Chemnitz
- Hiller, W.: Photovoltaik. Schülerforum „Regenerative Energie“, 12.-13.12.02 Chemnitz
- Schufft, W.: Prüfung und Diagnose zur Zustandsbewertung von Starkstromkabelsystemen. Intensivseminar „Zerstörungsfreie Diagnose von Stromkabelsystemen“, 10.-11.12.02 Leipzig

6.3 Sonstige

Betreuung eines Gymnasiasten im Rahmen des Schulprogramms „Besondere Lernleistungen“

Am Gymnasium Burgstädt gibt es seit gut vier Jahren eine Photovoltaikanlage, dennoch nimmt kaum ein Schüler von ihr Notiz. Die bisherige Auswertung erfolgte mittels eines Computers im Physikkabinett. Dieser erfaßte die von einem Datenlogger erzeugten Daten. Aus den Meßdaten wurden halbjährig Diagramme erstellt, die dann in den Physikräumen aus-



hängen.

Es bestand nun die Aufgabe, eine auffälligerere Möglichkeit der Darstellung dieser Daten zu finden. Die Idee war, eine große Anzeige, welche die momentan eingespeiste Leistung anzeigt, an einer zentralen Stelle im Schulhaus anzubringen.

So werden die Schüler einerseits sensibilisiert, mit den begrenzten

Energieressourcen sparsamer umzugehen und andererseits auf diese Weise an die Solarenergie als eine Form der regenerativen Energien herangeführt.

Durch die Arbeit bot sich für einen leistungsstarken Schüler die Möglichkeit, in das Fachgebiet der Elektrotechnik der TU Chemnitz „hineinzuschnuppern“. Er konnte grundlegende Arbeitstechniken erlernen und wurde an das Anfertigen einer wissenschaftlichen Arbeit herangeführt. Das sind Dinge, die für seinen weiteren Ausbildungsweg von Nutzen sein können. Vielleicht sind damit gar die Weichen für seinen weiteren Bildungsweg gestellt.

6.4 Presse (Beispiele)



Uwe Jilek (Mitte) von der Uni und die Stadtwerke-Mitarbeiter Jens Kliemt (l.), und Dirk Salzmeser bei der Vorortprüfung von Mittelspannungskabeln, die im Erdreich verlegt sind. —Foto: TU/UWE MEINHOLD

Freie Presse, 26.03.02

Heißer Draht der Uni zu den Stadtwerken

Studenten und Forscher suchen nach Verlusten im Netz

Gleich mit vier Forschungsthemen, erweitern die Stadtwerke Chemnitz AG und die Technische Universität in diesem Jahr ihre Zusammenarbeit. Ein Projekt zielt auf die Analyse der Verluste in den Stromnetzen der Stadtwerke. Einfach gesagt: Ein nicht unbedeutender Prozentsatz der eingespeisten Energie wird auf dem Weg durch die Netze insbesondere in Verlustwärme umgesetzt. Für den Stromproduzenten und die Netznutzer spielt dies sowohl in technologischer als auch in kaufmännischer Sicht eine wichtige Rolle. Die Experten um Prof. Wolfgang Schufft, Professur Energie- und Hochspannungstechnik der TU Chemnitz, wollen nun die Netzverluste an jedem Ort und zu jeder Zeit zwischen Energieerzeuger und Abnehmer genau beziffern.

Eine weitere Forschungsaufgabe ist die Kabeldiagnose in Mittelspannungsnetzen. Die hochmoderne Prüf- und Diagnosetechnik an der

TU Chemnitz wird dazu genutzt, um Alterungsprozesse von Kabeln zu analysieren und um Prognosen für deren weiteren Betrieb zu erstellen.

Das dritte Thema befasst sich mit dem Datenmanagement für Betriebsmittel. In einem computergetriebenen Informationssystem sollen zukünftig beispielsweise die „Lebensdaten“ von Transformatoren, Kabeln und Freileitungen gemanagt werden und somit dem Instandhaltungsmanagement sowie der Betriebsführung als Grundlage dienen.

Mit komplizierten Lastprofilen, also der möglichst sicheren Vorhersage des Strombedarfs für Kundengruppen zu bestimmten Tages- und Jahreszeiten, beschäftigen sich die Experten der TU und der Stadtwerke in einem vierten Projekt. Das Verbrauchsverhalten soll möglichst genau bestimmt werden, damit die Stadtwerke die Stromerzeugung und den Einkauf von Strom optimieren können. (MST)

TU Spektrum 03/2002, Seite 18

Neuer Messwagen prüft Kabelstrecken vor Ort

TU Chemnitz konzipierte mobiles Prüf- und Diagnosesystem für Mittelspannungskabel



Tino Noske (enviaM), Frank Scheiter und Uwe Jilek (TU Chemnitz) (v.l.) bereiten an einer Trafostation im Netzgebiet der enviaM die Diagnosemessung an einem Mittelspannungskabel vor. Im Kabelmesswagen arbeitet der Techniker Michael Stark von der TU. Foto: Uwe Meinhold

(MST) Die Professur Energie- und Hochspannungstechnik der Technischen Universität Chemnitz konzipierte ein mobiles Prüf- und Diagnosesystem für Mittelspannungskabel, das gegenwärtig eines der modernsten und leistungsstärksten seiner Art in Deutschland ist. Ein mit umfangreicher Mess- und Prüftechnik ausgestatteter Kabelmesswagen ermöglicht nun detaillierte und betriebsnahe Vor-Ort-Prüfungen. Damit sind

erstmalig relativ sichere Aussagen über das Altersverhalten von Kabeln in Mittelspannungsnetzen möglich, um daraus Prognosen über einen störungsfreien Betrieb des Kabelnetzes abzuleiten.

Das neue Prüfsystem wurde von Mitarbeitern der Professur Energie- und Hochspannungstechnik unter Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Schufft konzipiert. Kernstück des Prüf- und Diagnosesystems ist eine Resonanzprüfanlage. Im Gegensatz zu anderen in der Praxis gebräuchlichen Prüfverfahren sorgt sie für die Bereitstellung einer betriebsnahen Prüfwechselspannung. Für die Diagnose wurde die Resonanzprüfanlage mit einem auf digitaler Basis arbeitenden Teilentladungs- und Verlustfaktormesssystem kombiniert. Damit können Fehlstellen innerhalb der Kabel lokalisiert und der Zustand der Kabelisolation bewertet werden.

Dank einer engen Kooperation mit der envia Mitteldeutsche Energie AG, dem größten regionalen Energiedienstleister in Ostdeutschland, betrachten die Forscher der TU Chemnitz ihre innovativen Ideen nicht nur im Labormaßstab. Mit Hilfe von enviaM werden die Erkenntnisse aus Laborversuchen mit den Prüfergebnissen an realen Kabelstrecken abgeglichen. Der Energieversorger kann so den Zustand seiner Kabelstrecken noch besser einschätzen.

ANZEIGE

Minicomputer steuert Energieangebot

Kondensator puffert kurzfristig solare Energie

Als Energielieferant ist die Sonne unberechenbar. Um das stetige Mehr- oder Minderangebot an solarer Energie auszugleichen, wurde ein Speicher auf Basis eines Doppelschichtkondensators entwickelt. Er ist in der Lage, Energie für kurze Zeit zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben.

MARTIN FARRENT
HANDELSBLATT, 16.7.2002

DÜSSELDORF. Die Politik setzt auf eine blühende Zukunft des sauberen Solarstroms. Doch als Energielieferant ist die Sonne unberechenbar. Schon eine vorüberziehende Wolke lässt die Leistung einer Solarzellenanlage drastisch schwanken. Soll der Strom von den Dächern der Privathäuser und Unternehmen eines Tages einen nennenswerten Anteil des Gesamtbedarfs decken, müssen die Leistungsschwankungen ausgeglichen werden. Forscher der Technischen Universität Chemnitz haben eine Lösung gefunden, die für ein gleich bleibendes Angebot an Solarstrom garantiert.

Das Puffersystem auf Grundlage eines Doppelschichtkondensators speichert die Energie für kurze Zeit und gibt sie bei Bedarf wieder ab. Dieser Puffer ist die Basis für ein intelligentes Energiemanagement-System der Zukunft", erläutert Mirko Bodach, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter die Entwicklung an der TU Chemnitz von Anfang an begleitet hat. Ein Minicomputer ist das Gehirn der Anlage. Er erfasst das

von den Solarzellen bereitgestellte Energieangebot, erstellt einen Mittelwert und zieht sofort die Konsequenzen. Der Rechner leitet ein Überangebot an Solarstrom zum Herz des Speichersystems weiter, das in der Testversion aus sechs in Reihe geschalteten Doppelschichtkondensatoren besteht. Die Forscher nennen den Speicher, der etwa die Größe einer Autobatterie hat, auch Sixpack. Er speichert überschüssige Energie und gibt sie bei Bedarf wieder ab.

Gleichmäßige Versorgung mit Strom auch bei einem Mix aus Sonne und Wolken.

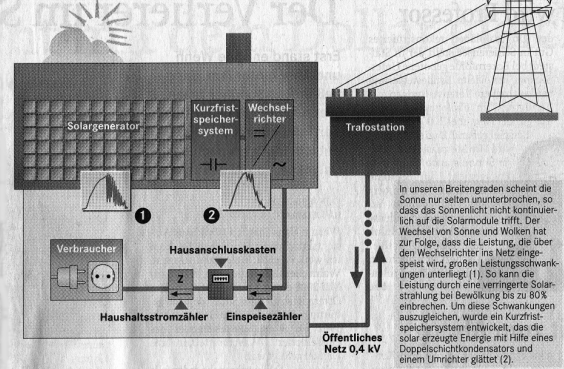
Es geht bei dem Projekt nicht darum, den Strom vom Himmel langfristig zu bunkern, wie es herkömmliche Bleiakkus leisten können. Bodach und sein Team denken im Minutenrhythmus. Für maximal eine Viertelstunde kann der Lastbetrieb mit

der Anlage gepuffert werden. Denn es sind nach Bodachs Darstellung die kurzfristigen Schwankungen am Himmel, die zu einer Belastung der Stromnetze führen: „Zieht eine Wolke vorüber, wird ein Einspeiser plötzlich zum Verbraucher.“ Der Kurzzeitspeicher soll derartige Schwankungen geregelt abfangen.

Zudem vermag das System beispielsweise bei einem länger andauernden Gewitter, „Zeit herauszuschinden“, wie Bodach sagt. So könne man auch eine Solaranlage per Computerautomatik geregelt herunterfahren, wenn die Sonne einmal auf Stunden verschwindet. Für die Kurzzeitspeicherung seien Kondensatoren weit besser geeignet als herkömmliche Batterien, weil sie elektrisch statt chemisch funktionieren. Daraus resultieren eine längere Lebensdauer und deutlich weniger Wartungsbedarf.

Der Sinn des Kurzzeitspeichers steht und fällt mit dem Erfolg der Photovoltaik schlechthin, wie Guido Kohl von den Stadtwerken Bonn (SWB) erläutert. „Wenn der Solarstrom gering vergütet wird, rentiert er sich nicht. Dann sind auch alle Entwicklungsfolgen akademischer Art.“ Derzeit seien die Netze stark genug, um spielend mit den schwankenden Einspeisungen der wenigen Solarzellenanlagen fertig zu werden. Wenn aber eines Tages

Stromspeicher gleicht Leistungsschwankungen aus



Quelle: Dipl.-Ing. M. Bodach, Energie- und Hochspannungstechnik, TU Chemnitz 2002

HANDELSBLATT-GRAFIK

Sonnenstrom in größerem Umfang eingespeist werde, „wird eine solche Technologie sinnvoll und notwendig“.

Noch scheint das Zukunftsmusik zu sein. Im Jahr 2000 lag der Anteil der Photovoltaik an der deutschen Stromproduktion mit 0,06 Prozent „hart an der Nachweisgrenze“, wie es das „Greenpeace-Magazin“ formulierte. Doch die Tendenz stimmt Bodach optimistisch. Er verweist auf die Prognose der Europäischen

Kommission, dass die Stromversorgung bis zum Jahr 2050 zu 90% durch erneuerbare Energien abgedeckt werden soll.

In Deutschland wächst der Markt für Photovoltaik-Anlagen seit Jahren rasant. Vor allem das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) trägt seit zwei Jahren zum Erfolg bei: Es zwingt den Netzbetreiber ein Müllgeschäft auf, denn für jede Kilowattstunde aus Solarenergie müssen sie mindestens 50 Cent zahlen –

ein Mehrfaches dessen, was sie von ihren Kunden verlangen können.

Damit Bodachs Kurzzeitspeicher von einem künftigen Solarboom profitiert, müssen jedoch die Preise für die Kondensatoren deutlich fallen. Derzeit werden sie in Handarbeit hergestellt und kosten als „Sixpack-Speicher“ für die 100-Watt-Testanlage fast 1.500 Euro. „Der Markt wird das regeln“, sagt Mirko Bodach. „Wenn die Kondensatoren in Serie gehen, fällt der Preis.“

Handelsblatt vom 16.07.2002, Seite 17

7. Externe Aktivitäten und Kontakte

7.1 Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

| | |
|--------------|---|
| 17.-18.01.02 | Besuch der ZSW, Ulm; Buderus, Lollar (Mehlich, Bodach) |
| 24.01.02 | Erdgas-Tagung, Leipzig (Mehlich) |
| 26.-27.02.02 | ETG-Fachtagung „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“ in Berlin (Prof. Schufft, Breitfeld, Schreiter) |
| 07.03.02 | Symposium „Energieforschung 21. Jahrhundert“, Halle (Prof. Schufft) |
| 13.-14.03.02 | Fachtagung „Elektrische Energiewandlungssysteme“, Magdeburg (Bodach) |
| 24.-26.04.02 | 46. Plenartagung des Fakultätentages Elektrotechnik, Erlangen (Prof. Schufft) |
| 14.05.02 | ETG Workshop „Netzanschluß von Brennstoffzellen und anderen kleinen dezentralen Energieerzeugungsanlagen“, Frankfurt a.M. (Bodach, Mehlich) |
| 27.-28.05.02 | DFG-Zwischenberichts-kolloquium, Darmstadt (Prof. Schufft, Jilek, Schreiter) |
| 25.-26.06.02 | Besuch der Westböhmisches Universität Pilsen (Prof. Schufft) |
| 25.-30.08.02 | Teilnahme CIGRÉ 2002, Paris (Prof. Schufft) |
| 09.-12.09.02 | 21st International Conference on Electrical Contacts, Zürich (Prof. Amft) |
| 14.-15.10.02 | f-cell-Forum, Stuttgart (Mendez) |
| 21.-23.10.02 | VDE-Kongress 2002, Dresden (Prof. Hiller, Bodach) |
| 08.11.02 | 15. Internationale wissenschaftliche Konferenz Mittweida (IWKM), Mittweida (Prof. Hiller, Mehlhorn, Bodach) |
| 09.11.02 | Tagung „Wärmepumpeninitiative“, Potsdam (Mehlich) |
| 14.-15.11.02 | Kasseler Energiesymposium „Energiespeichertechnologien“ (Prof. Hiller, Bodach, Mehlich) |
| 25.11.02 | Arbeitsgruppentagung „Biogene Gase und Brennstoffzellen“, Forschungszentrum Jülich (Mehlich, Neubert) |
| 10.-11.12.02 | Intensivseminar „Zerstörungsfreie Diagnose von Stromkabelsystemen“, Leipzig (Prof. Schufft, Jilek) |

7.2 Exkursionen

Exkursion des Elektrotechnischen Institutes

Die diesjährige Institutsexkursion am 05. und 06. Juni führte die Studenten der elektrischen Energietechnik nach Bayern. Am ersten Exkursionstag besuchte die Gruppe Siemens Automation & Drives in Nürnberg. An diesem Standort fertigt die Siemens AG unter anderem Motoren und Stromrichter, so daß die Teilnehmer einen anschaulichen Eindruck über die praktischen Abläufe bei der Herstellung dieser Produkte bekamen.

Erstes Ziel am zweiten Exkursionstag war die Firma Powersem in Schwabach, einem Hersteller von Leistungshalbleiterbauelementen. Die Studenten konnten während ihrer Besichtigung den gesamten Fertigungsablauf von der Herstellung des Chips bis zur Endmontage im Gehäuse verfolgen.

Den Abschluß der Exkursion bildete der Besuch der Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald, in der sowohl die Einsatzgebiete als auch die technischen Probleme der Wasserstofftechnik untersucht werden.

VDE-Chemnitz auf Auslandsexkursion

Die Jungmitglieder des VDE Chemnitz organisierten mit Unterstützung von Herrn Prof. Hiller vom 19. bis 24. November wieder eine einwöchige Auslandsexkursion. Diesmal führte sie die Teilnehmer nach Tschechien und Österreich. Erstes Ziel der Reise war das Skoda-Werk in Mlada Boleslav. Hier wurden moderne Produktionslinien der Autofertigung besichtigt. Einen weiteren Eindruck über die Geschichte dieses Automobilstandortes erhielten die Teilnehmer während eines Besuchs des Skodamuseums (siehe Bild).



Das zweite Ziel der Exkursion war die Fakultät für Elektrotechnik der Westböhmischen Universität Pilsen, mit der die TU Chemnitz einen Kooperationsvertrag unterhält. Neben einer Besichtigung des Campusgeländes waren hier für die Teilnehmer die Laborräume der Bereiche Mikrotechnologie, Mikroprozessorsysteme und Hochspannungstechnik von besonderem Interesse.

Das abschließende Ziel der Reise war das Philips-Werk in Klagenfurt. An diesem Standort produziert das Unternehmen Produkte aus dem „Health & Care“-Bereich (z.B. elektrische Zahnbürsten). Während der Besichtigung der Produktionshalle konnten alle Produktionsschritte und Abläufe dieser Großserienproduktion nachverfolgt werden.

Besuch der Strombörse in Leipzig

Auf Einladung von Herrn Prof. Hofmann (enviaM) besuchten am 05. Dezember einige unserer Mitarbeiter die EEX (European Energy Exchange = Strombörse) in Leipzig. In einem interessanten Vortrag wurden sie über die Arbeitsweise der europäischen Strombörse informiert. Darin wurde hauptsächlich auf die Methoden der Preisbildung für das Produkt „Strom“ sowie die verschiedenen Möglichkeiten zum Kauf und Verkauf von Energie eingegangen. Bei diesem Besuch bestand weiterhin die Möglichkeit, die technischen Einrichtungen für den Stromhandel zu besichtigen und den praktischen Ablauf mitzuverfolgen.

7.3 Gäste

Herr Dr. Schützler, TÜV-Süddeutschland (10.01.02)

Herr Fritsche, FFU Gesellschaft für Umweltschutz- und Unternehmensberatung
Fritsche & Partner mbH (22.01.02)

Herr Landgraf, ETO Elektrotechnik Oelsnitz GmbH (21.02.02)

Herr Hartig, Frau Wagner, Herr Sperling, enviaM Chemnitz (21.03.02)

Herr Neumann, Neumann Elektrotechnik GmbH (05.04.02)

Herr Schmidt, Herr Badstübner, Herr Klauder, VEM motors Thurm GmbH
(08.05.02)

Herr Dr. Berger, Herr Dr. Meissner, Herr Dr. Anheuser, Herr Fuß,
Moeller GmbH Bonn (16.-17.05.02)

Herr Nessler, Herr Loch, Stadtwerke Leipzig (30.05.02)

Herr Dr. Kûs, Herr Dr. Mühlbacher, Universität Pilsen (30.05.02)

Herr Hartlich, Herr Kluge, ETO Elektrotechnik Oelsnitz GmbH (04.06.02)

Herr Lorenz, envia (28.06.02)

Herr Jensen, Jensen Hochspannungs- und Prüftechnik (19.08.02)

Frau Prof. Zanger, TUC, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der TU Chem-
nitz; Herr Dr. Menke, ESAG Dresden (19.09.02)

Herr Dr. Okafor, Universität Lagos, Nigeria (19.09.02)

Herr Prof. Böhme, (15.10.02)

Herr Wilfert, Lurgi Chemnitz GmbH; Herr Unterdörfer, Lurgi Life Science GmbH
(30.10.02)

8. Höhepunkte sozialer Art

Wandertag 19.06.02

Unser diesjähriger Wandertag führte uns in das nahegelegene Erzgebirge. Wir hatten uns vorgenommen, etwas für die erschlafften Beinmuskeln zu tun und nahmen den Begriff Wandertag wörtlich. Unser Ausflug begann an der Gaststätte Heinzebank (Nähe Marienberg). Das erste Etappenziel sollte der Ort Lauterbach sein. Der Weg dorthin war aber für ungeübte Wanderfreunde doch recht anstrengend und so mußte schon frühzeitig eine Rast eingelegt werden. An einem idyllischen Waldsee fanden wir dafür das geeignete Plätzchen. Nach einem deftigen Frühstück (Knacker, Brötchen und Bier) war es schwer, die Gruppe wieder in Schwung zu bringen. Mit etwas Verspätung erreichten wir den Ort Lauterbach. Lauterbach ist in erster Line wegen des guten „Lauterbacher Tropfen“ weit über die Grenzen des Erzgebirges hinaus bekannt. Dabei handelt es sich um einen tannengrünen Kräuterlikör, der auch schon mal versehentlich als Badezusatz Verwendung findet. Einige von uns nutzten die Gelegenheit, im Werksverkauf ihre Reserven aufzufüllen. Hauptziel in Lauterbach war aber nicht die Likörfabrik, sondern eine der wenigen erhaltenen, mittelalterlichen Wehrkirchen Deutschlands, die wir besichtigten.

Das nächste Etappenziel war der Aufstieg zur Gaststätte „Drei Brüder Höhe“, wo wir dann unser Mittagssmahl einnahmen. Doch die Strecke bis dahin war äußerst strapaziös. Das lag aber nicht an den zu überwindenden Höhenmetern, sondern vor allem an der heißen und drückenden Wetterlage. Gegen 14 Uhr traten wir den Rückweg zum Startpunkt an. Dabei wurden wir von einem Gewitter verfolgt, dem wir jedoch knapp entkommen konnten. Insgesamt hatten wir an diesem Tag eine Strecke von ca. 15 km ohne personelle Ausfälle zurückgelegt.

Weihnachtsfeier am 13.12.2001 in der Gaststätte „Zum Krug“



Auch in diesem Jahr haben wir uns bei Glühwein, Bier und einem reichlichen Mahl auf das bevorstehende Weihnachtsfest eingestimmt. Traditionell waren wieder einige „Ehemalige“ mit von der Partie und haben durch Anwesenheit ihre Verbundenheit mit der Professur zum Ausdruck gebracht und in (wohl guten) Erinnerungen geschwelgt.

Potentielle Verstärkung der Professur

Das gute Arbeitsklima innerhalb der Professur wirkte sich in diesem Jahr auch im familiären Sektor einiger Mitarbeiter im wahrsten Sinne des Wortes fruchtbar aus. Auch hier konnten durchaus beachtliche Erfolge erzielt werden. Wir gratulieren den Müttern und Vätern zu dieser Leistung.



**Nikolas und Viktoria
Bodach (v.l.)**

geb. am: 16.07.2002

Jacob Mehlich

geb. 04.10.2002

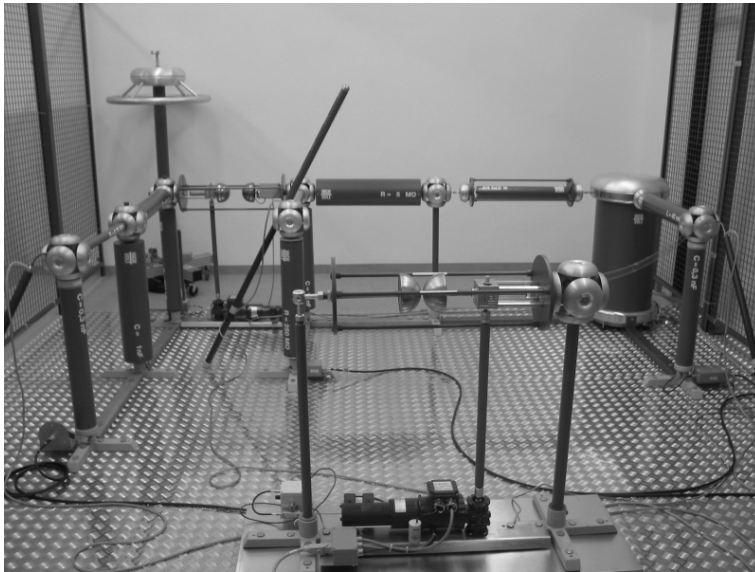


Timon Mehlhorn

geb. 05.10.2002

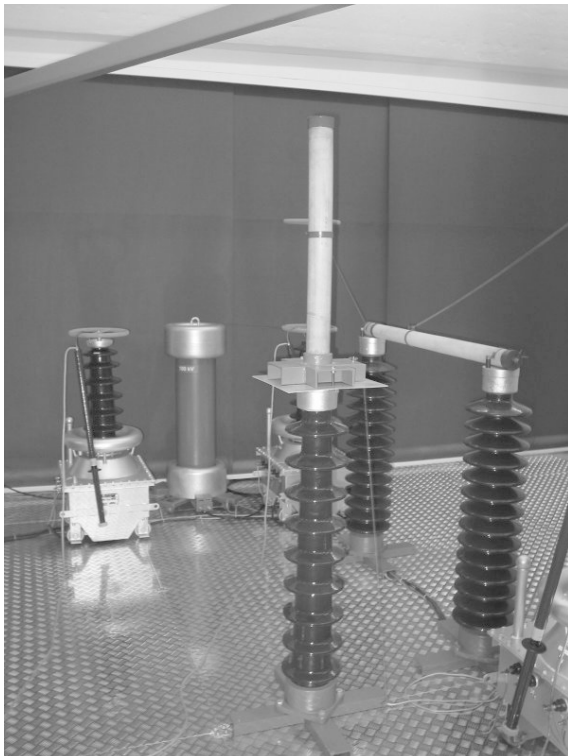
9. Ausstattung mit Prüf- und Meßtechnik

Wie bereits im Vorwort erwähnt, waren die vergangenen drei Jahre von einer grundlegenden Umstrukturierung geprägt. Dies betraf vor allem die Einrichtung der Laborräume und die gerätetechnische Ausstattung der Professur. Durch diese Umgestaltungsmaßnahmen sollte zum einen die Ausstattung an die inhaltliche Neuausrichtung der Professur angepaßt und zum anderen die Laborräume modernisiert werden. Das Ergebnis dieser Umgestaltung soll im Folgenden anhand einiger Bilder vorgestellt werden.



Bausteinsystem zur Erzeugung von Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen bis 100 kV mit moderner Computersteuerung

Durchführung von Praktika zum Messen von hohen Gleich-, Wechsel- und Impulsspannungen sowie der Untersuchung des Durchschlagverhaltens von Funkenstrecken



Neugestaltetes Versuchslabor für die Untersuchung der Eigenschaften von Isolieranordnungen bei Wechselspannungen bis 200 kV

Durchführung von Praktika zum Verhalten von Stützern, Durchführungen und Kappenisolatoren



Geschirmte Meßkabine mit integriertem Meßplatz zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung (Grundstörpegel $< 0,2 \text{ pC}$)
Durchführung von Praktika zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung sowie zur Untersuchung des dielektrischen Verhaltens von Isolierstoffen



Stoßspannungsgenerator zur Erzeugung von Blitzstoß- und Schaltstoßspannungen bis 600 kV mit modernisierter Computersteuerung
Durchführung von Praktika zum Thema Stoßspannung und Untersuchung des Einflusses der Elemente des Stoßkreises auf den Spannungsverlauf



Leistungsstarkes Wechselspannungs-Prüfsystem bis 200 kV mit modernisierter Computersteuerung, geeignet z.B. für die Durchführung des FGH-Stufentest an Kabelproben. Diese wird auch für diverse Prüfungsaufgaben von regional ansässigen Unternehmen genutzt.



Leistungsstarkes Vor-Ort-Prüfsystem auf der Basis einer frequenzabgestimmten Resonanzprüfanlage kombiniert mit modernster Diagnose-technik, eingebaut in zwei Kleintransporter. Mit dieser Anlage können Mittelspannungskabel, aber auch andere kapazitive Prüfobjekte zur Zustandsbewertung geprüft und diagnostiziert werden.

9.1 Hochspannungs- und Hochstromlabor

1. Netzanschlüsse
6 kV, 10 kV, 380 V, 660 V Drehstrom
2. Schaltleistungsprüfung
Wechselspannung U = 220 V, I = 50 kA, $\cos \varphi = 0,70$
U = 380 V, I = 10 kA, $\cos \varphi = 0,65$
(je eine Halbwelle)
Gleichspannung U = 500 V, I = 500 A
3. Hochspannungsprüfung
Wechselspannung U = 200 kV
Gleichspannung U = 200 kV
Stoßspannung U = 600 kV
4. Vor-Ort-Resonanzprüfsystem WRV 23/45
Prüfspannung bis 45 kV, Prüfstrom bis 23 A
Frequenzbereich 20 - 300 Hz
5. Transienten-Meß-System TR-AS 100/12, 100 Megasample pro s, 12 bit
Transienten-Meß-System TR-AS 100/8 100 Megasample pro s, 8 bit
umfangreiche Auswerte- und Protokollsoftware
6. Dielektrischer Analysator DIANA
Verlustfaktormessung bis 4 kV, Erfassungsgrenze $\tan \delta = 10^{-4}$
Kapazitätsmessung
7. Digitales Kapazitäts- und Verlustfaktormeßsystem LDV-5
Meßbereich Kapazität 0,1 pF - 2 μ F
Auflösung $\tan \delta$ bis 10^{-6}
Frequenzbereich 10 - 400 Hz
8. Digitales Teilentladungsmeß- und Diagnosesystem LDS-6
TE-Meßbereich 1 - 10^5 pC
obere Grenzfrequenz 30 MHz
9. TE-Fehlstellenortung
Abtaste bis 250 Megasample pro s
Ortungsgenauigkeit bis 0,1% der Kabellänge
10. Ölprüfeinrichtung, transportabel
verschiedenste Spannungsformen und Hochlaufkurven
11. Repetitionsstoßgenerator RSG 500
12. Blitzspannungsprüfeinrichtung SIP 010, transportabel
Wechselspannung bis 10 kV
Stoßspannung 1,2/50 bis 10 kV

13. Spannungsmeßteiler
Ohmsche Teiler bis 200 kV
Kapazitive Teiler bis 300 kV
Stoßspannungsteiler bis 600 kV (1,2/50)

9.2 Gerätelabor

1. Transientenrecorder / intelligente Oszillografen
Philips PM 3323 2000 MHz, 500 Megasample pro s, 2-kanalig
Transientenrecorder 10-kanalig bei 4 kByte / Kanal,
2-kanalig bei 18 kByte / Kanal
umfangreiche Ausrüstung (Verstärker, Schnittstellen,
Spannungsteiler, Shunts, Meßköpfe)
2. Femtoamperemeter
3. Lichtmikroskop mit Rechneranschluß und Videoeinrichtung
4. Magnetfeldmeßeinrichtung mit Rechneranschluß bis 10 kHz
5. Dosisleistungsmeßgerät FH 40 G (Eberline Instruments)
Meßgröße: Photonendosisleistung
Meßbereich: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ - 0,99 Sv/h
Dosismeßbereich: 100 nSv - 10 Sv
6. EM-Feldanalysator EFA-2 (Wandel & Goltermann)
Frequenzbereich 1: 5 Hz ... 2 kHz
Frequenzbereich 2: 5 Hz ... 30 kHz
Meßbereich: 100 nT, 1 μT , 10 μT , 100 μT , 1 mT, 10 mT
(automatische Meßbereichswahl)
7. Strahlungsmeßgerät EMR-20 (Wandel & Goltermann) für isotrope Mes-
sung elektrischer Felder
Frequenzbereich: 100 kHz ... 3 GHz
Meßprinzip: digitale dreiachsige Messung
Spezifizierter Meßbereich: 1 ... 800 V/m
Anzeigeauflösung: 0,01 V/m
8. 8-Kanal Scope Corder DL 708 (YOKOGAWA)
Abtastrate bis 10 Megasample pro s
Speichertiefe: 2MBit pro Kanal
Auflösung: 10 bit
9. Datenlogger DA 100 (YOKOGAWA) mit maximal 300 Kanälen
kürzestes Meßintervall: 0,5 s
Speichertiefe: nur begrenzt durch Festplatte des Logger-PC

9.3 Vakuummeßplatz

1. Vakuum-Turbomolekular-Pumpstand
erzeugbares Vakuum bis 10^{-8} Pa
2. Hochvakuum-Bedampfungsanlage mit Öl-Diffusionspumpe
Vakuumkammer bis 300 mm,
erzeugbares Vakuum bis 10^{-4} Pa
3. Kaltkathoden-Vakuummeter
4. Glühkathoden-Vakuummeter

9.4 Software

ATP/ATPDraw

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge der Energieversorgung

Elektra 3.40

Stationäre Berechnung und Simulation von Lastflüssen und Kurzschlüssen in elektrischen Netzen

FlexPro 5.0.47

Konvertierung, Bearbeitung und Analyse von Meßwertdatensätzen

FLUX

FEM-basierte Berechnung von Feldern

Labview

Programmieren, Steuern und Simulieren von elektrischen Geräten (Meßgeräte, elektronische Lasten, Stromversorgungen u.a.)

PC Anywhere

Fernsteuerung von Rechentechnik über Modem und Netzwerk, vor allem eingesetzt zur Meßwertfernabfrage

CSM 53

Feldberechnung von Isolieranordnungen mit Ein- und Zweistoffsystem

Simplorer 4.2

Umfangreiches Simulationssystem zur Berechnung und Dimensionierung elektrischer Netzwerke aller Art, eingesetzt zur Simulation von Anlagen und Systemen der Photovoltaik und Leistungselektronik

10. Dienstleistungen

I. Prüfung der elektrischen Festigkeit von Isolierstoffen und Isolieranordnungen

- I.1 Wechselspannungsprüfungen bis 200 kV
- I.2 Stoßspannungsprüfungen bis 600 kV
- I.3 Gleichspannungsprüfungen bis 200 kV
- I.4 FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln
- I.5 Spannungsprüfungen von Vakuumanordnungen
- I.6 Vor-Ort-Prüfungen an Mittelspannungskabeln und anderen kapazitiven Prüfobjekten mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

II. Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften von Isolierstoffen und Isolieranordnungen

- II.1 Verlustfaktor-Messungen im Labor und Vor-Ort
- II.2 Teilentladungs-Messungen im Labor und Vor-Ort
- II.3 Kabelfehlerortung an Mittelspannungskabeln
- II.4 Isotherme Relaxationsstrom-Analyse (IRC) an Energiekabeln
- II.5 Messungen von Isolations- und Ableitwiderständen
- II.6 Ladungsmessungen
- II.7 Messung kleiner Ströme

III. Prüfung der Stromtragfähigkeit von Kontakt- und Leiteranordnungen

- III.1 Wechsel-, Gleich- und Stoßstromprüfungen
- III.2 Prüfungen mit von 50 Hz abweichenden Frequenzen
- III.3 Erwärmungsprüfungen
- III.4 Prüfungen an Niederspannungs-Schaltkontakten

IV. Messung von Netzdaten

- IV.1 Messung der Oberschwingungen von Strom und Spannung
- IV.2 Langzeitmessungen (Monitoring) der Effektivwerte von Strom und Spannung
- IV.3 Messungen der Netzimpedanz

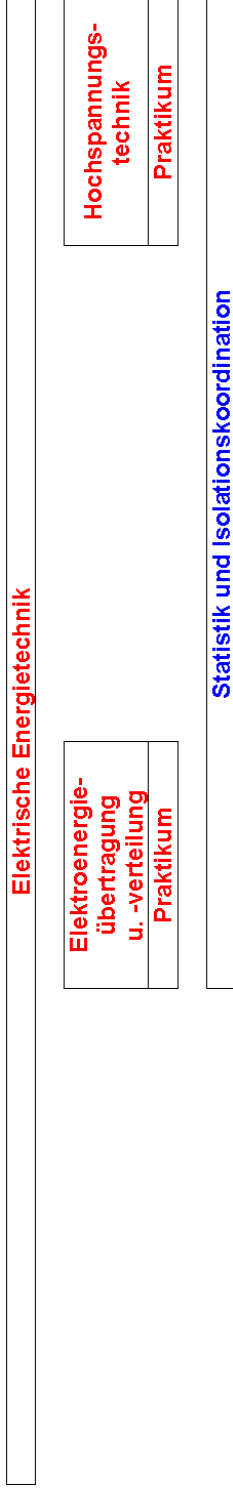
V. Spezielle Meßaufgaben

- V.1 Messungen magnetischer, elektrischer und elektromagnetischer Felder
- V.2 Messungen mit Isoliermeßverstärkern
- V.3 Schnelle, berührungslose Bewegungsmessung (Laserdistanzmessungen)
- V.4 Präzisionswägung und Dichtebestimmung
- V.5 Mikroschnitte von PE-Kabeln zum Nachweis von Wasserbäumchen (water trees)

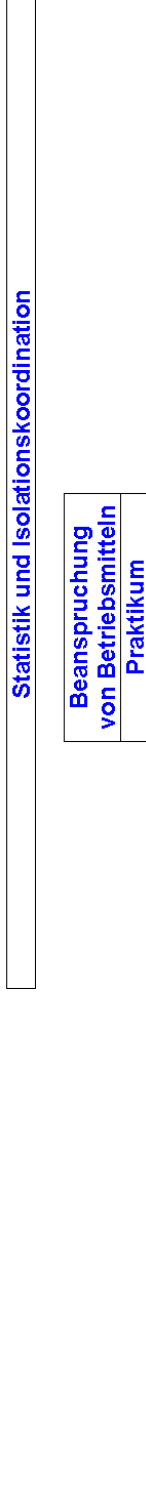
Konzeption der Professur Energie- und Hochspannungstechnik

Inhalt: *Regenerative* *Energie-* *Elektroenergie-* *Beanspruchung* *Geräte- und* *Hochspannungs-*
(Kausalfluß) *Energiequellen* *management* *systeme* *el. Betriebsmittel* *Isoliertechnik* *technik*

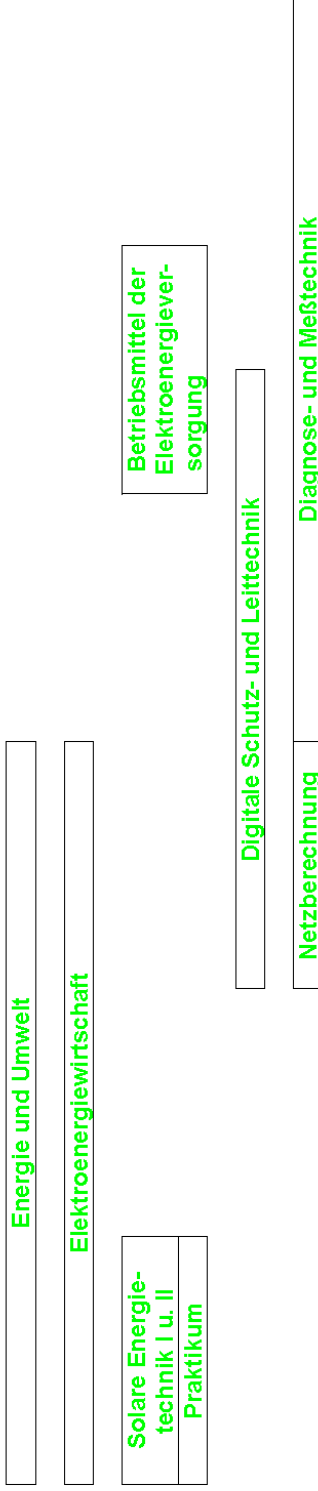
Pflichtfächer:



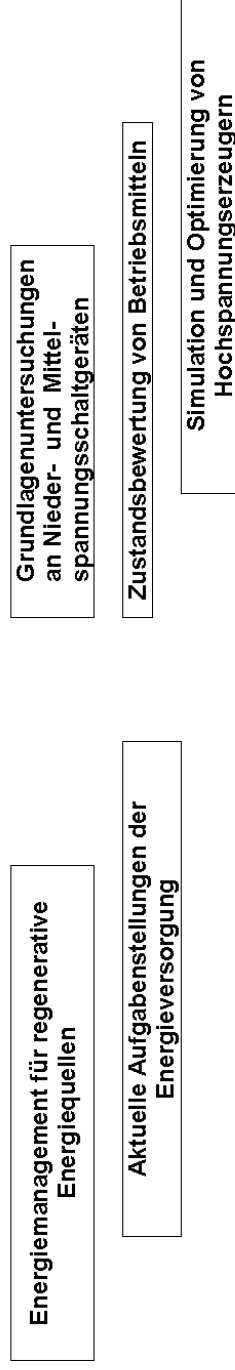
Wahlpflichtfächer:



Wahlfächer:



**Forschungs-
schwerpunkte:**



Vision:

