



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elentia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



# Jahresbericht 2011

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

# **Jahresbericht 2011**



## **Inhaltsverzeichnis - Table of contents**

<b>Vorwort - Preface .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Personelle Besetzung des Instituts - Staff.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Lehre - Lectures .....</b>	<b>13</b>
2.1 Vorlesungen und Praktika - Lectures and Laboratories .....	13
2.2 Studienseminare - Student Lectures .....	17
2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects.....	17
2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses .....	19
2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses.....	19
2.6 Masterarbeiten - Master Theses .....	20
<b>3 Berichte aus Forschung und Entwicklung - Abstracts on Research Projects .....</b>	<b>21</b>
3.1 Arbeitsgruppe Energiesysteme - Working Group Energy Systems .....	21
3.2 Arbeitsgruppe Gleichstromsysteme - Working Group DC Power Systems .....	31
3.3 Arbeitsgruppe Isoliersysteme - Working Group Insulation Systems.....	40
3.4 Arbeitsgruppe Schaltgeräte - Working Group Switching Devices .....	46
3.5 Carbon-Scout.....	55
3.6 Dissertationen - Dissertations.....	58
<b>4 Besondere Ereignisse - Special Events .....</b>	<b>65</b>
4.1 Berichte von besonderen Ereignissen - Reports on Special Events.....	72
<b>5 Veröffentlichungen und Vorträge - Publications .....</b>	<b>91</b>
5.1 Berichte in den Medien - News.....	96



Liebe Freunde,

wie wird unsere elektrische Energieversorgung der Zukunft aussehen? Der Bundestag hat am 30. Juni 2011 die politische Forderung der **beschleunigten Energiewende** aufgestellt. Dazu sind einige Studien erschienen, die Hinweise geben oder Impulse liefern. Unterstützen durften wir bei der Smart Grid Studie von acatech, aber z.B. auch von der Leopoldina und der ETG sind hierzu Studien erschienen. Allen gemeinsam ist das Ziel bis 2050 einen Anteil von 80 % der elektrischen Energien aus erneuerbaren Energieträgern zu decken. Dies stellt eine große Herausforderung für uns alle dar, die wir nur in gemeinsamen Anstrengungen erreichen können. Daher freue ich mich über die Ernennung meines Kollegen Bernd Engel zum 1. Oktober 2011 zum zweiten Professor am Institut, um diesen Prozess auch von Braunschweig aus zu unterstützen und unsere erfolgreiche Arbeit in Lehre und Forschung fortzuführen.

Bernd Engel wird das Fachgebiet **Komponenten für nachhaltige Energiesysteme** vertreten. Er bringt als berufliche Erfahrung zuletzt acht Jahre erfolgreiche Tätigkeit als Entwicklungsleiter beim Markt- und Technologieführer bei Solarwechselrichter mit, der SMA Solar Technology AG. Er ist bei mehreren Gremien wie z.B. bei der Netzplattform des Bundeswirtschaftsministeriums, im Bundesverband Solarwirtschaft e.V., beim Zentralverband der elektrotechnischen Industrie e.V. und im Forum Netztechnik Netzbetrieb (FNN) im VDE als gewähltes Forumsmitglied 2012-2014 aktiv. Er wird in der Lehre neben den beiden Grundlagenvorlesungen „Elektrotechnik für Maschinenbau“ vor allem Vorlesungen zum Thema dezentrale und innovative Energiesysteme anbieten. In der Forschung ist er für den Bereich der AG Energiesysteme verantwortlich.

Aus diesem besonderen Anlass möchten wir gerne wieder ein Ehemaligentreffen durchführen, um im entsprechenden Rahmen über alle guten Neuigkeiten berichten zu können. Bitte merken Sie sich schon einmal das Wochenende vom 21. bis 23. September für das Ehemaligentreffen vor.

Seit Juli 2011 ist unser Sekretariat wieder voll besetzt. Wir freuen uns über die Mitarbeit von Jacqueline Schmidt. Sie unterstützt uns alle tatkräftig und sorgt nun gemeinsam mit Frau Nardmann für den reibungslosen Ablauf aller anfallenden Arbeiten in unserer Kommunikationszentrale. Vielen Dank auch an Frau Iris Thelen für ihre Unterstützung im Sekretariat und vor allem für ihre vielen neuen Ideen. Zur erfolgreich abgeschlossenen Ausbildung zur Feinwerkmechanikerin gratulieren wir Frau Jenny-Sue Jabs. Nach vielen Jahren der tatkräftigen Unterstützung in den Werkstätten in Braunschweig und Hallendorf verabschieden wir Herrn Dieter Pochwat in seinen wohlverdienten Ruhestand. Wir wünschen ihnen alles Gute für den weiteren Lebensweg.

Mein besonderer Dank geht an die drei Herren von der AG Energiesysteme: Gunnar Bärwaldt, Dr. Magnus Pielke und Benjamin Deppe. Mit ihrem außergewöhnlich ehrgeizigen Einsatz haben sie alle für den erfolgreichen Aufbau der AG Energiesysteme wesentlich beigetragen. Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Dr. Michael Budde, der die AG Isoliersysteme weiterentwickelt hat und ganz nebenbei die ISDEIV organisiert hat. Wir wünschen allen viel Erfolg in ihren neuen Wirkungsbereichen.

Am September haben wir unsere jährliche Strategiesitzung in Ilsenburg im Harz veranstaltet. Gemeinsam mit den AG-Leitern haben wir drei Schwerpunkte für unsere Forschungsarbeiten identifiziert:

Der Schwerpunkt **Aktive Verteilnetze („smart grid“)** stellt die Fortführung der erfolgreichen Tätigkeit der AG Energiesysteme im größeren Zusammenhang dar. Durch Einsatz von „intelligenten“ Technologien bei den verschiedensten Betriebsmitteln des Verteilnetzes, ob es die Wechselrichter der Erzeugungsanlagen, die Messsysteme („smart metering“) oder Ortsnetztransformatoren sind, soll versucht werden, mehr dezentrale erneuerbare Energien ins Netz zu integrieren, ohne dass die Netzausbaukosten übermäßig ansteigen.

Der Schwerpunkt **Hochvolt-Bordnetz** bündelt unsere Bestrebungen im Bereich der Isoliersysteme und der DC-Schalter. Hier geht es um das Design neuer Isoliersysteme und Löschsysteme, die bei minimalem Gewicht ein Höchstmaß an Sicherheit und dielektrischer Festigkeit garantieren. Hier bringen wir uns sowohl experimentell als auch mittels Simulationen ein, um die hochaktuelle Entwicklung in Deutschland auf dem Weg zum **Leitanbieter für Elektromobilität** zu unterstützen.

Der Schwerpunkt **Energieanlagen für Offshore-Windparks** befasst sich mit Schaltgeräten, Leistungselektronik und Isolationen auf dem Gebiet der Hochspannungs-Gleichstromtechnik. So sollen geeignete Konzepte für das Schalten hoher Ströme bei hohen Gleichspannungen erforscht werden. Mit diesem Thema beschäftigt sich das Institut schon seit **75 Jahren**, was eindrucksvoll in der VDE Veranstaltung „75 Jahre HGÜ“ in Berlin berichtet wurde.

Ungefähr 30 % mehr Erstsemester hat uns der doppelte Abiturjahrgang beschert. Damit haben wir unsere nominale Anfängerzahl überschritten und liegen in der Lehrereinheit Elektrotechnik bei einer Auslastung von über 80 %. Zusätzlich bieten wir unsere Vorlesungen jetzt auch im Studiengang Umweltingenieurwesen an, und zurzeit entwickeln wir einen Masterstudiengang Elektromobilität mit dem geplanten Starttermin zum Wintersemester 2012/13. Die Vorlesung „Elektrotechnik 1 für Maschinenbau“ wird von über 800 Studierenden besucht, so dass die zwei größten Hörsäle mit Videoübertragung für Vorlesung und Übung gebucht werden mussten.

Im **Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik** (NFF) unterstützen wir intensiv die Forschung im Bereich der Elektromobilität. Mit der Einführung des Hochvolt-Bordnetzes können wir unsere Kompetenz im Bereich der elektrischen Sicherheit hervorragend einbringen. Im Bereich der Li-Ionen-Batterien stellen wir unsere Kompetenz in Modellierung und Prüftechnik im neuen Braunschweiger Batterielabor zur Verfügung.

Der **Forschungsverbund Energie Niedersachsen** (FEN) hat seine Aufgaben in den letzten fünf Jahren erfolgreich bewältigt. Als Sprecher des FEN bedanke ich mich recht herzlich bei Allen für die Unterstützung. Unsere Forschungsergebnisse im Bereich der aktiven Verteilnetze haben wir auf dem 4. FEN Symposium am 10. und 11. März 2011 in Hannover präsentiert und in einem Tagungsband festgehalten. Wir warten nun gespannt auf die Einrichtung des geplanten weiterführenden Forschungsverbundes zum Thema Smart Grid.

Gemeinsam mit unseren Partnern haben wir im Jahr 2011 viel erreicht. Dafür bedanken wir uns bei den Unternehmen und Forschungseinrichtungen, den Lehrbeauftragten, der Deutschen Forschungsgesellschaft, dem Bundesumweltministerium, der Volkswagenstiftung sowie dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur und wünschen Ihnen und uns ein erfolgreiches und glückliches neues Jahr.

Braunschweig, im Dezember 2011







## 1 Personelle Besetzung des Instituts - Staff

(Stichtag 31.12.2011)

Vorstand:	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (Geschäftsführender Institutsleiter) Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Professoren im Ruhestand:	Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner Tegernsee  Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer Braunschweig  Prof. Dr.-Ing. Jürgen Salge Salzgitter-Osterlinde
Honorarprofessoren:	Prof. Dr.-Ing. Bernhard von Gersdorff, Berlin Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind, Braunschweig
Lehrbeauftragte:	Dr.-Ing. Hartmut Knobloch, Berlin Dr.-Ing. Harald Waitschat, Braunschweig
Sekretariat:	Christine Nardmann Jacqueline Schmidt
AG Energiesysteme:	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt (AG-Leiter) Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arne Dammasch Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hannes Haupt M. Sc. Stefan Laudahn Dipl.-Ing. Jan Bellin (ext. Doktorand, VW)
AG Gleichstromsysteme:	Dr.-Ing. Vladimir Ermel (AG-Leiter) Dipl.-Ing. Ole Binder Dr. rer. nat. Thorsten Kroker Dipl.-Ing. Johann Meisner (ext. Doktorand, PTB) Dipl.-Ing. Enrico Mohns (ext. Doktorand, PTB)

AG Isoliersysteme:	Dipl.-Ing.	Michael Blaz
	Dipl.-Ing.	Ingo Gramberg
	Dipl.-Ing.	Michael Hilbert
AG Schaltgeräte:	Dr.-Ing.	Ernst-Dieter Wilkening (AG-Leiter)
	Dipl.-Ing.	Björn Bünsow
	Dipl.-Ing.	Julia Reiß
	Dipl.-Ing.	Bernd Schottel
	Dipl.-Ing.	Thorsten Schrank
	Dipl.-Ing.	Christian Wolf
Carbon-Scout:	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Johannes Diedrich
	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Benjamin Munzel
Technische Angestellte:	Norbert Schmidt	
	Susanne Wahl	
	Bernhard Wedler	
Werkstattmitarbeiter:	Kerstin Rach (Werkstatteleiterin)	
	Frank Haake	
	Klaus-Dieter Kozowsky	
	Reinhard Meyer	
Auszubildende:	Frank Bosse	

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2011 ausgeschieden:

Am 28.01.11	Jenny-Sue Jabs
Am 31.01.11	Dr.-Ing. Magnus Pielke
Am 31.03.11	Iris Thelen
Am 16.05.11	Dieter Pochwat
Am 31.05.11	Dr.-Ing. Michael Budde
Am 17.06.11	Dr.-Ing. Nasser Hemdan
Am 30.06.11	Dipl.-Ing. (FH) Christian Gucza
Am 30.09.11	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Deppe
Am 16.11.11	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gunnar Bärwaldt
Am 31.12.11	Dipl.-Ing. Christian Wolf

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2011 neu hinzugekommen:

Am 01.02.11	Dipl.-Ing. (FH) Christian Gucza
Am 01.03.11	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johannes Diedrich
Am 01.03.11	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Munzel
Am 01.06.11	Dr. rer. nat. Thorsten Kroker
Am 11.07.11	Jacqueline Schmidt
Am 01.12.11	M. Sc. Stefan Laudahn

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2011 tätig:

Walid Asimi	Hinrich Baade	Marc Bauer
Christoph Blase	Dirk Bösche	Moritz Boos
Philipp Butz	Zahide Cengil	Philipp Clasen
Felix Deuter	Jan Ole Dittberner	Marcel Dreger
Andreas Fahl	Bastian Feige	Esai Fotso Tagah
Franziska Funck	Irina Glaser	Laura Glende
Stephan Goedecke	Reinhold Heitmann	Nicholas Hill
Marco Iovaldi	David Janßen	Lukas Jurek
Henning Kaschel	Andreas Kersting	Marius Kluge
Erhan Köksal	Hendrik Köpf	Tobias Kopp
Benjamin Kühn	Karol Kunowski	Stefan Laudahn
Christoph Lepper	Stanislaw Ljahov	Hauke Loges
Tim Lüdtke	Nils Maichrowitz	Ole Marggraf
Florian Mathies	Marie Mathis	Ulrich Müller
Fridolin Muuß	Ahn Tuan Pham	David Rakidzija
Christian Reinhold	Sören Ridderbusch	Torben Rommel
Harald Scherg-Kurmes	Lorenz Soleymani	Henrik Stadtmann
Frederick Sümening	Michael Tallen	Stefan Testasecca
Christian Thienemann	Peter Tinschert	Daniel Unger
Lennert van der Wall	Sebastian Wermuth	Uwe Westerhoff
Henrik Wienken	Michael Widok	Olaf Zindel



## 2 Lehre - Lectures

### 2.1 Vorlesungen und Praktika - Lectures and Laboratories

<b>Vorlesungstitel</b>	<b>Vortragender</b>	<b>Zeitraum</b>
Dezentrale Energiesysteme	Prof. Kurrat	WS 11/12
Elektrotechnik 1 für Maschinenbau	Prof. Engel	WS 11/12
Elektrotechnik 2 für Maschinenbau	Prof. Kurrat	SS 11
Elektrische Energieanlagen I	Dr. Wilkening	WS 11/12
Elektrische Energieanlagen II	Dr. Wilkening	SS 11
Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke	Dr. Waitschat	WS 11/12
Energiewirtschaft im Wandel - Auswirkungen der Liberalisierung	Prof. Kurrat	SS 11
Grundlagen der elektrischen Energietechnik	Prof. Kurrat	SS 11
Hochspannungstechnik I	Prof. Kurrat	SS 11, WS 11/12
Hochspannungstechnik II	Prof. Kurrat	WS 11/12
Innovative Energiesysteme	Prof. Kurrat	SS 11
Numerische Berechnungsverfahren	Prof. Kurrat	WS 11/12
Plasmatechnik	Prof. Kurrat	WS 11/12
Supraleiter in der Energietechnik	Prof. Kurrat	SS 11
Systemtechnik in der Photovoltaik	Prof. Engel	WS 11/12
Wirtschaftliche Entwicklung von Geräten der Energietechnik	Dr. Knobloch	WS 11/12
<b>Praktika</b>		
Innovative Energiesysteme - Praktikum		SS 11
Numerische Berechnungsverfahren - Rechnerpraktikum		SS 11
Praktikum Analyse und Planung von Netzen mit NEPLAN		WS 11/12
Hochspannungstechnik - Praktikum		WS 11/12
Energetechnisches Kolloquium		SS 11, WS 11/12

## **Dezentrale Energiesysteme**

(WS 11/12) 3 V, 1 Ü

(zusammen mit der TU Clausthal und der Uni Oldenburg)

Das Modul Dezentrale Energiesysteme thematisiert die Funktionsweise elektrischer Energiesysteme. Dieses umfasst die Prozesskette von der Umwandlung primärer Energie in den Sekundärenergieträger Strom über den Energietransport und Energiespeicherung bis hin zur effizienten Nutzung der zur Verfügung gestellten Endenergie. Neben der Lehre dieser Systemgrundlagen beschäftigt sich das Modul mit den Rahmenbedingungen heutiger Energiesysteme. Dazu zählen neben der Veränderung der Energieerzeugungsstruktur auch wirtschaftliche wie rechtliche Rahmenbedingungen sowie der verstärkte Einsatz von Informationstechnologien zur Verbesserung der Geschäftsprozesse der Energiewirtschaft und ihres Umfeldes.

## **Elektrotechnik 1 für Maschinenbau<sup>1</sup> (Bachelor)**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Grundbegriffe der Elektrotechnik • Elektrisches Feld • Magnetisches Feld • Grundbegriffe der Wechselstromtechnik • Mathematische Hilfsmittel zur Beschreibung elektrischer Vorgänge

## **Elektrotechnik 2 für Maschinenbau (Bachelor)**

(SS 11) 2 V, 1 Ü

Elektrische Strömungsfelder • Zeitlich veränderliche Vorgänge in elektrischen Netzwerken • Drehstromsysteme • Elektrische Maschinen • Halbleiterbauelemente • Personenschutz in Niederspannungsnetzen

## **Elektrische Energieanlagen I**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Leitungs- und Netzformen • Ersatzschaltungen und Kenndaten der Netze • Berechnungen von Leitungen und Netzen • Kurzschluss- und Lastflussrechnung • Netzstabilität • Schutzmaßnahmen

## **Elektrische Energieanlagen II**

(SS 11) 2 V, 1 Ü

Anforderungen an Aufbau und Wirkungsweise von Betriebsmitteln der elektrischen Energieversorgung • Grundsaltungen und Aufbau von Schalt- und Umspannstationen • Schaltgeräte • Freileitungen • Erdungsanlagen • Netzschutz

## **Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Elektrizitätswirtschaft als Teil der Energiewirtschaft • Probleme der Weltenergiewirtschaft • Charakteristiken des Stromverbrauchs • Traditionelle Energieerzeugung • Regenerative Energieerzeugung • Umweltaspekte der Energiegewinnung • Internationale Verbundwirt-

---

<sup>1</sup> Pflichtvorlesung für alle Studierenden des Maschinenbaus und des Wirtschaftsingenieurwesens Maschinenbau

schaft der Elektrizitätswerke • Kosten der Energiegewinnung und -verteilung • Besonderheiten des liberalisierten Strom-/Energiemarktes in Deutschland

**Energiewirtschaft im Wandel - Auswirkungen der Liberalisierung** (SS 11) 2 V

Energiemarkt • Übertragungsnetz • Netzkennlinien-Regelung • Bereitstellung von Regelenergie • Energiewirtschaft und –politik • Gewinnung und Speicherung von Windenergie • Nachhaltigkeit • Energiehandel

**Grundlagen der elektrischen Energietechnik<sup>2</sup>** (SS 11) 3 V, 1 Ü

(gemeinsam mit Prof. Canders und Prof. Meins)

Der von Prof. Kurrat vertretene Anteil beinhaltet: Grundzüge der elektrischen Energiewirtschaft • Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung und elektrische Energieerzeugung

**Hochspannungstechnik I** (SS 11, WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Die Vorlesung vermittelt Grundlagen zur Auslegung und Beurteilung von Hochspannungs-Isoliersystemen.

Energieübertragungssysteme im Umbruch • Hochspannungsnetze: Übertragungsverluste, Spannungsebenen, Verbund- und Verteilnetze • Definition der Isolationskoordination • Entstehung von Überspannungen: Gewitterentstehung, Blitzschutz, äußere und innere Überspannungen • Wanderwellenphänomene: TEM-Welle, Transmission und Reflexion, Wellenersatzschaltbild, Mehrfachreflexion • Sicherheitsvorschriften • Grundprinzipien von Isoliersystemen • Gasförmige, flüssige und feste Isoliersysteme • Elektrische Festigkeit: Gasdurchschlag, Teilentladungen, Durchschlag in flüssigen und festen Isolierstoffen

**Hochspannungstechnik II** (WS 11/12) 2V, 1 Ü

In der Vorlesung werden die Grundlagen zur Durchführung und Bewertung von Hochspannungs- und Hochstromprüfungen behandelt.

Übersicht zur Erzeugung hoher Spannungen im Prüffeld • Beschreibung und Berechnung von Systemen zur Messung hoher Spannungen im Prüffeld • Überblick zur Erzeugung hoher Stoß- und Kurzzeitströme im Prüffeld • Grundlagen der Strommesstechnik • Einführung in die Teilentladungsmesstechnik • Darstellung von Prüfungen unter Berücksichtigung erschwerter Umweltbedingungen • Einführung in die Sicherheitsbestimmungen beim Betrieb von Anlagen

---

<sup>2</sup> Pflichtvorlesung für alle Studierenden der Elektrotechnik und des Wirtschaftsingenieurwesens Elektrotechnik



### **Innovative Energiesysteme**

(SS 11) 2 V, 1 Ü

Die Vorlesung stellt ein Forum dar, welches der Vertiefung der Kenntnisse über erneuerbare Energien und deren Einbindung in das Energiesystem dient. Gleichzeitig wird die öffentliche Diskussionsfähigkeit der Studenten im gesellschaftspolitischen Bereich gestärkt.

### **Numerische Berechnungsverfahren**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Eliminations- und Iterationsverfahren zur Lösung linearer Gleichungssysteme • Numerische Integration von Systemen gewöhnlicher Differentialgleichungen • Verfahren zur Lösung partieller Differentialgleichungen 2. Ordnung • Nichtlineare Optimierung

### **Plasmatechnik**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Plasmaphysikalische Grundlagen • Methoden zur Beschreibung von Plasmen • Plasma im HF-Feld • Plasmadiagnostik • Kontrollierte Kernfusion • Schaltgerätetechnik • Plasma-Werkstofftechnik.

### **Supraleiter in der Energietechnik**

(SS 11) 1 V

Die Vorlesung gibt einen Einblick in die physikalischen Grundlagen der Supraleitung und geht dabei insbesondere auf die Hochtemperatursupraleiter ein.

Der zweite Teil der Vorlesung besteht aus dem Braunschweiger Supraleiterseminar, auf dem Fachvorträge zu Anwendungen der Supraleitung von Referenten aus Forschung und Industrie gehalten werden.

### **Systemtechnik in der Photovoltaik**

(WS 11/12) 2 V

Die Vorlesung gibt einen Überblick über die Anforderungen an die Systemkomponenten der netzgekoppelten und Inselnetz-Photovoltaikanlagen. Durch Förderprogramme und den starken Preisverfall bekommt die Photovoltaik eine wachsende Bedeutung für die elektrische Energieversorgung (bis zu 30 % an der deutschen Mittagslast). Besonders eingegangen wird auf die Wechselrichtertechnik.

### **Wirtschaftliche Entwicklung von Geräten der Energietechnik**

(WS 11/12) 2 V, 1 Ü

Die Vorlesung zeigt Möglichkeiten und notwendige Randbedingungen für die wirtschaftliche Entwicklung von Geräten der Energietechnik auf. Dabei wird Management-Basiswissen in der Form vermittelt, dass Ingenieuren die Zusammenhänge von Kosten, Qualität und Zeit verständlich gemacht werden, dass aber auch Betriebswirten gleichzeitig ein Einblick in technische Problemkreise ermöglicht wird.

## 2.2 Studienseminare - Student Lectures

### WS 2010/2011 – Wie grün ist die Zukunft der Energietechnik?

Tobias Kopp	DC-Schalten mit Halbleitern – Stirbt der mechanische Schalter aus?
David Rakidzia	Vakuum vs. SF6 in der Schaltgerätetechnik
Andreas Fahl	Kernfusion – Energiegewinnung am Tokamak
Konrad Schneider	DC-Schalten in aktuellen und zukünftigen Anwendungen – Lichtbogen vs. Halbleiter
Nicholas Hill	Nano-Anwendungen in der Elektrotechnik
Sebastian Wermuth	Blitzschutz und Sicherheit bei HGÜ
Kanat Tashenov	Ist grüner Strom auch ökologisch?
Stefanie Koch	Analyse netztechnischer Auswirkungen durch die Etablierung von aktiven Verteilnetzen

### SS 2011 – Trends der Energietechnik

Lukas Jurek	Weltweiter Einsatz von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssystemen (HGÜ)
Stefan Laudahn	Wie stehen die Weichen hin zum Europäischen Supergrid?
Agah Cihan Kahveci	Kritische Würdigung DESERTEC – Welche Hürden sind zu nehmen?
Florian Lippold	AC vs. DC – Gleichstrom-Technologie im Nieder- und Mittelspannungsnetz
Philipp Butz	Systemdienstleistungen durch dezentrale Energieerzeugungsanlagen?
Christopher Ziegert	Induktives Laden
Hendrik Köpf	Gestoßene Leistungshalbleiter – Wie werden Sie geprüft?
Uwe Westerhoff	Piezoaktoren in der Energietechnik – Ein neuer Antrieb für Schaltgeräte?
Salem Maamer	Anwendungsgebiete der Plasmatechnik
Wassim Kharroubi	ITER Projekt (Kernfusion)
Marie Mathis	Herstellung und Anwendung der Supraleiter
Stanislaw Ljahov	HTS – Leiter der Zukunft

## 2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects

(Bearbeitungszeit 10 Wochen)

Dennis Drees	Ex Post Untersuchung der Fördermechanismen beim Einsatz von KWK-Anlagen in der Hausenergieversorgung (Bunk)
Anna-Lena Menn	Untersuchung des Verhaltens von 600V IGBT-Schaltern gegenüber steilen Spannungsflanken (Bünsow)
Hendrik Köpf	Entwicklung und Aufbau einer 80V Treiberstufe zur Untersuchung von IGBT-Schaltern mit Stoßströmen (Bünsow)

Stefanie Koch	Analyse netztechnischer Auswirkungen durch die Etablierung von aktiven Verteilnetzen (Deppe)
Tobias Vieker	Entwicklung einer Inbetriebnahmestrategie für Offshore-Windparks (Pielke, aip)
Keno Galts	Analyse und wirtschaftliche Bewertung des Contracting-Modells der Lichtblick AG in Bezug auf das "ZuhauseKraftwerk" (Dammasch)
Marcus Engler	Ermittlung der Auswirkungen von dezentral einspeisenden Mini-BHKW auf ein ländliches Niederspannungsnetz mittels NEPLAN unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsstrategien (Dammasch)
Lily Chiwakata Sekai	Bilanzierung des Energiebedarfs von Industrieprozessen (Haupt)
Timo Wulf	Modellierung der Stromeinspeisung einer Photovoltaik-Anlage (Haupt)
Nicole Erbsland	Bilanzierung des Energiebedarfs von Industrieprozessen (Haupt, aip)
Christian Hammer	Entwicklung von Angebotsstrategien für Virtuelle Kraftwerke bestehend aus Mini-Blockheizkraftwerken zur Teilnahme am Regelleistungsmarkt (Dammasch)
Maximilian Buder	Entwicklung eines Speicherkonzeptes zum fahrplanbasierten Einsatz von Mini-Blockheizkraftwerken im Verbundbetrieb (Dammasch, Gronstedt)
Torben Rodemann	Erarbeitung eines Ansatzes zum Einsatz eines elektrischen Energiespeichers über verschiedene Vermarktungskanäle (Gronstedt)
Jan Ole Dittberner	Erarbeitung einer qualitativ-orientierten Vergütungsstruktur dezentraler Energieanlagen (Gronstedt)
Tobias Kopp	Untersuchung des Schaltverhaltens eines Geräteschutzschalters unter Verwendung eines externen Permanentmagneten bei Gleichspannung (Schrank)
Berend Müller	Analyse und technische Betrachtung von Virtuellen Kraftwerken (Dammasch)
Zindel Olaf	Untersuchung der Blitzstoßspannungsfestigkeit von Kontaktanordnungen in Zusammenhang mit CuCr-bedampften Keramikoberflächen im Vakuumprüfgefäß (Gramberg)
Renke Ehlers	Untersuchung von Bedampfungsschichten auf Vakuumschaltkammerkeramiken nach Last- und Kurzschlussstromschaltungen (Gramberg)

## 2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Fabian Viedt	Potenzialanalyse zur Effizienzsteigerung durch die Einführung eines Smart Metering (Deppe)
David Schreiber	Marktintegration von dezentralen Erzeugungsanlagen aus Sicht des Netzbetreibers (Pielke, aip)
Jonathan Kuhlmann	Marktpotenzialanalyse von erdgasbetriebenen Mini BHKW (Bunk, Pielke, aip)
Bert Wegener	Modellentwicklung zur Entscheidungsunterstützung bei der wirtschaftlichen Einführung eines Smart Metering aus Vertriebsicht unter Beachtung des Kundennutzens (Deppe)
Patrick Schulz	Auswahl und kritische Analyse möglicher Förderungsmechanismen für virtuelle Kraftwerke (Gronstedt)
Benjamin Munzel	Bewertung von CDM-Projekten im Bereich der Erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz anhand von Zertifikatspreisen unter Risiko (Wiedenhoff)
Hamdi Jedidi	Aufbau eines Hochspannungs-Rechteckgenerators mit getriggelter Funkenstrecken in einer Thyristor-Topologie (Bünsow)
Steffen Karste	Untersuchung des Einflusses von Wärmepumpenheizungen auf Niederspannungsnetze hinsichtlich ihres Lastverhaltens (Bunk)
Jan Henne	Technische Analyse und Simulation von HGÜ-Schalterkonzepten (Binder)
Timo Thran	Entwicklung von Konzepten zur Tarifgestaltung für Standardlastprofilkunden auf Basis eines intelligenten Zähl- und Messwesens (Deppe)
Franziska Funck	Szenarienbasierte Entwicklung eines 110 kV Netzkonzeptes für das Jahr 2030 unter Beachtung derzeitiger Entwicklungstrends (Deppe, Dammasch)
Keno Galts	Entwicklung und Simulation von Produktions- und Angebotsstrategien für Kraftwerke zur Teilnahme am deutschen Minutenreservemarkt (Damasch)

## 2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate)

Fridolin Muß	Bewertung einer variablen thermischen Last zur Simulation von Lastprofilen an einem Mini-BHKW-Versuchsstand (Bunk)
--------------	--

Wiebke Herweg	Potentialanalyse zur Reduzierung von Ausgleichsenergiekosten durch elektrische Energiespeicher (Haupt)
Henning Kaschel	Current-Interrupt-Analyse von Batteriezellen (Haupt)
Björn Winter	Untersuchung eines ausgewählten Betriebskonzeptes zur effizienten Kombination elektrischer Energiespeicher auf Haushaltsebene (Gronstedt)
Christopher Ziegert	Entwicklung eines Zähl- und Messkonzeptes für aktive Verteilnetze (Deppe)
Ole Marggraf	Entwurf individueller Photovoltaikeinspeiseprofile (Bunk)
Lukas Jurek	Inbetriebnahme eines Vakuumversuchsschalters mit Magnetantrieb und experimentelle Untersuchungen des Vakuumbogens zwischen TMF-Kontakten (Wolf)
Sebastian Kuppe	Analyse des Vermarktungsansatzes der Regeleistung für dezentrale Stromerzeugungseinheiten mit gekoppelten elektrischen Energiespeichern (Gronstedt, IWBT)
Lukas Langenhorst	Analyse der Möglichkeit zur Direktvermarktung von Stromerzeugungseinheiten mit Energiespeichern (Gronstedt, IWBT)
Dirk Bösche	Entwurf und Aufbau einer lichtwellengetriggerten Zündelektronik für Kugelfunkenstrecken (Bünsow)
Xu Wang	Aufbau und Inbetriebnahme eines Brennstoffzellen-Versuchsstandes für die Untersuchung von Gleichstromschaltgeräten (Schrank)
Tobias Runge	Analyse transienter Überspannungen im Niederspannungsnetz anhand von Simulationen (Schottel)

## 2.6 Masterarbeiten - Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Stefan Laudahn	Blindleistungskompensation in Mittelspannungsnetzen (Bunk)
Kanat Tashenov	Entwurf von Photovoltaik-Einspeiseprofilen für Hausanschlüsse im Niederspannungsnetz (Bunk)
Xiaotong Zhu	Technische Analyse leistungselektronischer Topologien von Gleichstromumrichtern für Gleichstromnetze (Binder)

### 3 Berichte aus Forschung und Entwicklung - Abstracts on Research Projects

#### 3.1 Arbeitsgruppe Energiesysteme - Working Group Energy Systems

##### Transformation der elektrischen Energieverteilungsnetze

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk*

Die E.ON Avacon AG führt derzeit gemeinsam mit dem Energie Forschungszentrum Niedersachsen ein Pilotprojekt unter dem Titel „e-Home Energieprojekt 2020“ durch. Dieses Projekt verfolgt das Ziel, die zukünftigen Anforderungen an Niederspannungsnetze und Möglichkeiten zu deren effizienten Bewältigung zu bestimmen. Dazu wurden zu Beginn des Jahres 2011 in zwei ca. 200 Haushalten umfassenden Ortschaften 32 Haushalte mit Photovoltaikanlagen, Klimageräten und Elektroautos ausgestattet. Das Niederspannungsnetz der Ortschaft wird den daraus entstehenden Anforderungen entsprechend ausgebaut. Dabei werden sowohl herkömmliche Mittel, wie beispielsweise die Verlegung von Parallelkabeln, als auch innovative Technologien wie z.B. regelbare Ortsnetztransformatoren eingesetzt (Abbildung 1).

Der Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators ermöglicht die Einhaltung von Spannungsgrenzen im Niederspannungsnetz durch gezielte Ansteuerung des Stufenschalters (Abbildung 2). Dadurch ist es unter anderem möglich, die Aufnahmekapazität von dezentralen Erzeugern des Niederspannungsnetzes



Abbildung 1: Regelbarer Ortsnetztransformator

Figure 1: Variable transformer

nachhaltig zu steigern. Als Eingangsgröße für den Regler können dabei sowohl die Spannung an der Sammelschiene (Monosensorbetrieb) als auch verteilte Messgrößen im Niederspannungsnetz (Multisensorbetrieb) herangezogen werden.

Mit Hilfe von Smart Metern wird darüber hinaus das Nutzungsverhalten der Haushalte ausgewertet und die sich ergebenden Lastprofile und deren Gleichzeitigkeiten beobachtet. Zusätzlich werden Zustandsgrößen des Netzes mit Hilfe weiterer Messtechnik an geeigneten Netzknoten überwacht und ausgewertet. Dabei stehen sowohl quasistationäre Zustände wie beispielsweise Lastflussrichtung, Leitungsbelastungen und Netzverluste als auch dynamische

Vorgänge, die zum Beispiel durch Transformatorstufungen und Wolkenzug ausgelöst werden, im Fokus.

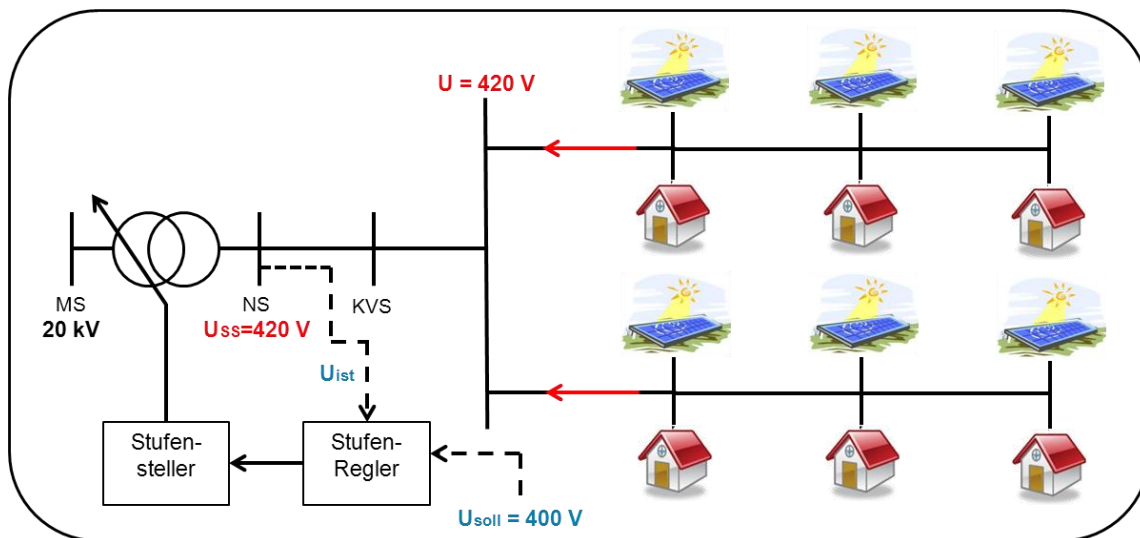


Abbildung 2: Einhaltung von Spannungsgrenzen über den regelbaren Ortsnetztransformator  
Figure 2: Voltage limits and variable transformer

## Transformation of the electricity network

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk*

Currently, the future needs of the electricity networks were examined in a project with E.ON Avacon AG in cooperation with EFZN. As part of the project, 32 households were equipped with photovoltaic systems, electric cars, air conditioners and smart meters. At the local transformer station, a variable transformer is used. Thus it is possible, to influence the supply voltage as a function of the grid load. This will increase the capacity of distributed generation facilities. In further studies, the load profiles of the households were evaluated with smart meters.

## Feldversuch eines netzorientierten Verbundbetriebs (Virtuelles Kraftwerk) von Mini-BHKW in der Hausenergieversorgung

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arne Dammasch*

### Motivation

Die Anforderungen an elektrische Verteilnetze werden in den nächsten Jahren aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien weiter steigen. Neben den bisherigen Tageslastschwankungen müssen zukünftig die dezentralen Erzeuger, wie z.B. PV-Anlagen, kleine Windkraftanlagen sowie Mini-BHKW in die Betrachtung der Netzbelastung mit einbezogen werden. Es ist dabei erstrebenswert, die Inanspruchnahme der verwendeten Betriebsmittel möglichst kon-

stant zu halten. Hierzu können einerseits die Lastspitzen während eines Tages geglättet und andererseits die schlecht zu prognostizierende Einspeisung beeinflusst werden. Die netzorientierte Betriebsweise von Mini-BHKW im Verbund bietet eine solche Möglichkeit der Beeinflussung. Durch eine gezielte Ansteuerung von mehreren Geräten kann die Einspeisung und damit verbunden auch der Netzlastgang angepasst werden.

In den vergangenen Jahren wurden die Anforderungen und Gegenmaßnahmen umfangreich am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen im Rahmen des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen (FEN) simuliert. Parallel dazu wurden die Vorbereitungen für einen Praxiseinsatz im Rahmen eines Feldversuches vorangetrieben. Dieser Feldversuch startete im ersten Quartal 2011 und wird sich über die Gesamtdauer eines Kalenderjahres erstrecken.

### **Umsetzung des Feldversuches**

Für die praktische Umsetzung des netzorientierten Verbundbetriebes konnte sowohl ein regionaler Netzbetreiber sowie eine regionale Baugenossenschaft gewonnen werden. Im Rahmen des Feldversuches wurden zwei Mehrfamilienhäuser innerhalb eines Netzbezirkes mit je einem Mini-BHKW des Typs ecoPOWER 4.7 von Vaillant ausgestattet. Es werden innerhalb der Haushalte Daten zum Raumwärme- und Warmwasserverbrauch erhoben, sowie die Betriebszeiten der BHKW inkl. elektrischer Energieerzeugung, Einspeisung in das Niederspannungsnetz sowie der Bezug aus dem Netz gemessen. Außerhalb der Wohngebäude werden an einem Verteilerkasten die elektrischen Daten des Straßenstranges, aufgeteilt nach Wirk-, Blind- und Scheinleistung der einzelnen Phasen aufgenommen. Für die Fahrplangenerierung werden diese Messdaten an einen Zentralcomputer, der sich am Institut befindet, übermittelt. Die erfassten Messwerte werden einem Algorithmus zugeführt, der die Fahrplanerzeugung vornimmt und für jedes sich im Verbund befindliche BHKW einen individuellen Einsatzfahrplan erzeugt. Anschließend werden die Fahrpläne über eine standardkonforme Kommunikationsschnittstelle nach IEC 61850, entwickelt vom FEN, an die Mini-BHKW als Day-Ahead-Einsatzfahrplan übermittelt. Als Übertragungstechnik findet hierbei ein UMTS-Router Anwendung, der über das Mobilfunknetz einen Zugriff sowohl auf die Schnittstelle als auch auf das Messsystem gewährleistet. Obwohl eine dauerhafte Verbindung zwischen dem zentralen Fahrplanserver und den Steuergeräten besteht, muss die Übertragung der Fahrpläne lediglich einmal täglich für den nächsten Tag stattfinden. Die Abbildung 1 zeigt das Schema des Messsystems wie es in den Wohnobjekten installiert ist.



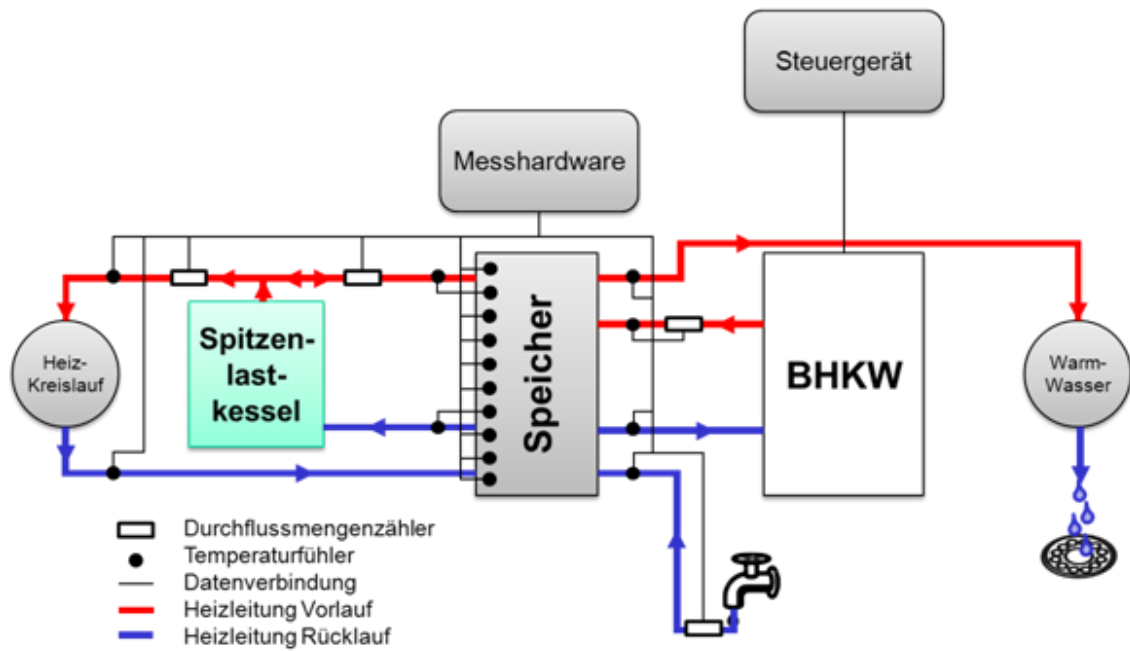


Abbildung 1: Schema des installierten Messsystems im Wohnobjekt

Figure 1: Scheme of the installed measurement system in the residential building

Mit der Erkenntnis aus den bisherigen Daten des Feldtests lässt sich sagen, dass eine Anwendung des netzorientierten Verbundbetriebes über die Simulation hinaus auch in der Praxis realisierbar ist. Anhand von Abbildung 2 ist sehr gut zu erkennen, dass im Januar 2011 durch das Fahrplanmanagement eine starke Reduktion der täglichen Lastspitzen erzielt werden konnte. Dadurch wurde eine Rückspeisung weitestgehend vermieden, was zudem in eine Verringerung der Lastgangspreizung resultierte. Für den Monat Mai ergibt sich ein ähnliches Bild, auch hier wurden die Lastspitzen stark geglättet. Zudem kann eine Entlastung der Betriebsmittel, sowie eine Reduzierung von Rückspeisungen in das vorgelagerte Netz erzielt werden. Im weiteren Verlauf des Feldtests wird dieses System weiter verfeinert und erprobt.

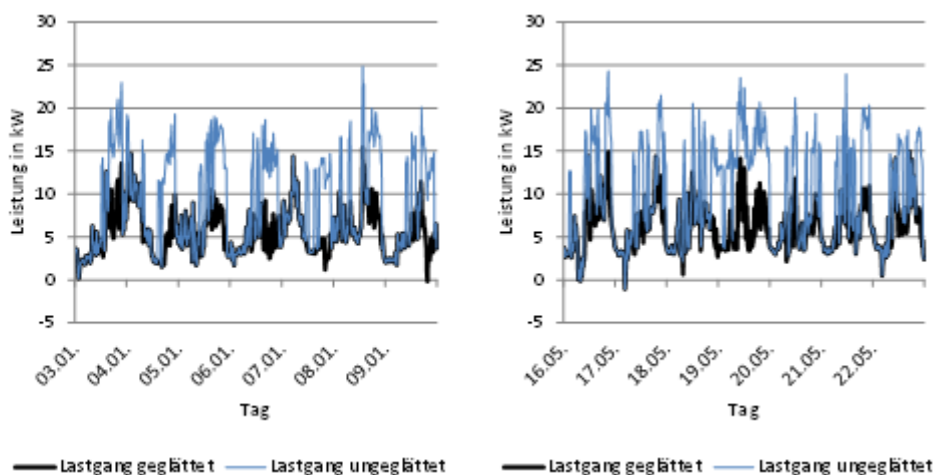


Abbildung 2: Reale Lastspitzenglättung mittels netzorientierten Betrieb zweier Mini-BHKW  
 Figure 2: Peak shaving with two micro CHP units running in a grid-oriented operation mode

## **Field test of grid oriented micro CHP units for the domestic energy supply**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arne Dammasch*

### **Motivation**

Grid operators facing different challenges for their network especially with the dramatically increase in the penetration level of renewable energies. In addition to the problem of the load fluctuations during the day, the existence of the distributed generation (DG) has to be taken into consideration. These DG's include photovoltaic systems, small wind turbines and micro CHP units. The usage of the operational supplements in power grids must be kept constant to ensure the quality of energy supply. To do that, there are different possibilities to influence on the load profile. On one side, the peak demand of the day can be decreased and on the other side, the power supplied from DG can be controlled. The grid-oriented operating method of CHP can be used to manage the supplied power to the grids and get more benefits from the point of view of the grid operator. The composite operation of a number of micro CHP units together offers the possibility to manage the supply of electrical energy.

Previously, the requirements of power grids and the operating method of micro CHP units were extensively simulated by the Energy Research Alliance of Lower Saxony (FEN) in recent years. In addition, preparations for a field test were taken at this time. The field started in the first quarter of the year 2011.

### **Implementation of the field test**

The practical implementation of the field test is conducted by the Institute in cooperation with the University of Oldenburg. The field test is also supported by a regional grid operator and a regional building society. Two multi-family houses have been equipped with ecoPOWER 4.7 micro CHP units of the manufacturer Vaillant for conducting the investigations.

The Energy Research Alliance of Lower Saxony (FEN) has developed a communication interface based on the IEC 61850 standard to control the remote micro CHP units in the multi-family houses by a mainframe computer. The mainframe computer creates a roadmap for the next day for each unit based on an intelligent algorithm developed by the Institute. Different measured values (temperature of the pipes, temperature of the thermal storage tank and fluid-flow) can be recorded. Therefore these measured values of the installation can be used to generate the roadmap for the CHP.

First results show, that the grid-oriented operation mode of micro CHP units is suitable for reducing the peak demand of electrical energy in residential areas. As a positive side effect, the feed-in of electrical energy into the next higher voltage level has been reduced most time during the field test.

## Einsatzmöglichkeiten elektrischer Speicher zur weiteren Integration dezentraler Energieanlagen

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt

Im Zuge der momentanen Diskussion über die zunehmende Bedeutung für den Klimawandel, nicht prognostizierbare Energiepreise und einer drohenden Ressourcenknappheit nimmt die Energieversorgung unter Verwendung Erneuerbarer Energien sowie die Effizienzsteigerung von Energieanwendungen eine entscheidende Position ein. Daher werden innovative Konzepte mit steigendem Anteil von Erzeugern auf Basis regenerativer Energien sowie dezentraler KWK-Anlagen die Energieversorgung der kommenden Jahrzehnte prägen. Die besondere Herausforderung dieser Szenarien kommt insbesondere den Stromnetzen zu, die durch den weiteren Ausbau von Erzeugungskapazitäten auf Mittel- und Niederspannungsebene reagieren müssen. Eine wesentliche Chance zur Bewältigung dieser Herausforderung stellen leistungsfähige Energiespeicher, die Unterschiede zwischen den zeitlich schwer zu erfassendem Energieangebot und –nachfrage ausgleichen.

Innerhalb des Teilprojekts „Netzbetrieb mit Speichern“ des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen (FEN) wurden die Untersuchungen zur Entwicklung innovativer Konzepte für eine effektive Integration von mobilen und stationären in das vorhandene Elektrizitätsnetz zur weiteren Integration erneuerbarer Energieumwandlung mit diesem Jahr abgeschlossen.

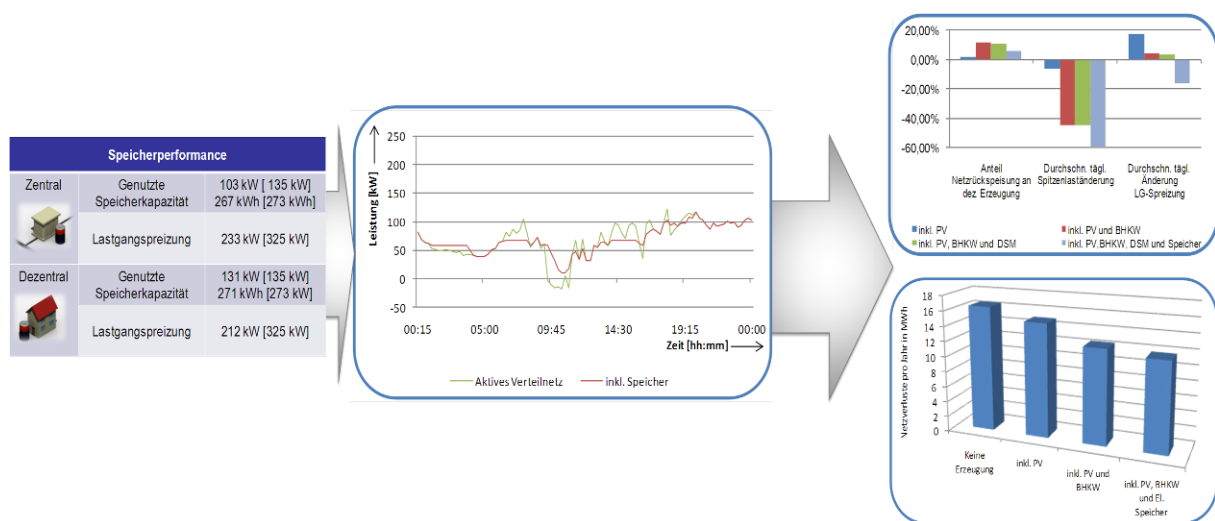


Abbildung 1: Ergebnisse der Untersuchung für ein städtisches Niederspannungsnetz

Figure 1: Simulation results for a low voltage network in a residential area

Aufbauend auf einem erarbeiteten Anforderungsprofil für ein Speichersystem zur Anwendung im Niederspannungsnetz wurden für Batteriespeicher Konzepte hinsichtlich der vom FEN verfolgten „netzorientierten Betriebsweise“ simulativ eruiert und später auf Laborebene validiert. In diesem Zuge wurde stets der Vergleich zwischen lastnah (dezentral) und lastfern (zentralen) positionierter Speicherleistung gezogen werden. Darüber hinaus berücksichtigt das implementierte Simulationsmodell auch restriktive technische und marktwirtschaftliche

Randbedingungen bspw. hinsichtlich der zeitlichen Verfügbarkeit der installierten Leistung im Zuge von Elektromobilitätskonzepten. Abbildung 1 zeigt in diesem Zusammenhang die Ergebnisse der fünfstufigen Untersuchung, die ein städtisches Niederspannungsnetz iterativ mit dezentralen Erzeugern erweitert und abschließend um elektrische Speichersysteme ergänzt.

Auf Grundlage der Simulationsergebnisse werden die bereits erarbeiteten Bewirtschaftungs- und Betriebskonzepte für Energiespeicher weiterentwickelt und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit angepasst. Zukünftig wird angestrebt diese Erkenntnisse im Hinblick auf die kritische Wirtschaftlichkeit dezentraler Energie- als auch Speichersysteme zu verwenden. Im Besonderen soll dem Ansatz einer zeitgleichen Vermarktung über eine Vielzahl verfügbarer Absatzkanäle nachgegangen werden, der sich an vorhandenen Instrumenten aus der Finanzwirtschaft zur Risiko- und Ertragsoptimierung orientiert.

### **Chances of electric storage systems for the future energy system**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt*

The increasing number of decentralized power units as well as electricity generation from renewables influences the load flow of today's local grids more and more. In this context electrical storage systems are providing opportunities to reduce fluctuations and peak loads as well as to improve the efficiency of decentralized power units. Based on several different tests in our laboratories a simulation for the usage of electrical storage systems for grid purposes has been implemented. By this especially innovative concepts for the future energy scheme including higher shares in distributed energies as well as local or centrally installed energy storage systems can be analyzed and optimized. Figure 1 gives an overview of the simulation results of a five step approach following a so called grid-oriented operation mode for a residential network.

### **LithoRec – Recycling von Lithium-Ionen Batterien**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hannes Haupt*

An Batteriesysteme zur Integration in den Antriebsstrang eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges werden vielfältige Anforderungen gestellt. Die notwendige Antriebsleistung soll für eine Reichweite >100km bereitgestellt werden und dies nach Möglichkeit über die gesamte Fahrzeuglebensdauer. Dabei hängen die Kenngrößen des Batteriesystems und die Belastungen, denen das Batteriesystem ausgesetzt wird, stark von dem Grad der Elektrifizierung des Antriebsstranges ab. Tabelle 1 zeigt die Ausprägung der Kenngrößen Kapazität und Zellanzahl für 3 unterschiedliche Elektrifizierungsgrade.

Während des Betriebs verändert sich der Zustand eines Batteriesystems kontinuierlich. Beispielsweise reduziert der Verlust von Aktivmaterial auf Grund eines Massetransports während der Lade-/Entladevorgänge die nutzbare Kapazität und chemische Reaktionen der Elektroden mit dem eingesetzten Elektrolyt erhöhen den Innenwiderstand. Da die nutzbare Kapazität die Reichweite eines vollelektrisch angetriebenen Fahrzeuges bestimmt und der Innenwiderstand die maximal abrufbare Leistung reduziert, verringern diese Veränderungen direkt die Leistungsfähigkeit eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges. Dies führt dazu, dass der Zustand von Batteriesystemen die für eine Nutzung in einem vollelektrisch angetriebenen Fahrzeug nicht mehr geeignet sind stark variieren kann. Eine häufig verwendete Kenngröße zur Beschreibung des Zustandes ist das Verhältnis der aktuell nutzbaren Kapazität  $C_{akt}$  und der nominellen Kapazität  $C_{nom}$ .

Tabelle 1: Kenngrößen unterschiedlicher Batteriesysteme

Table 1: Characteristics of different battery systems

	<b>Kapazität [kWh]</b> <b>Capacity [kWh]</b>	<b>Anzahl Zellen</b> <b>Number of cells</b>
HEV	1	70
PHEV	9	170
BEV	22	250

Im Rahmen des Projektes LithoRec wird davon ausgegangen, dass die Kapazität der mobil eingesetzten Batterien zum Lebensdauerende folgende Werte annimmt:

Tabelle 2: Kapazität am Lebensdauerende

Table 2: Capacity at the end of life

	<b>Kapazität [kWh]</b> <b>Capacity [kWh]</b>
HEV	0,5
PHEV	7,2
BEV	17,6

Unter diesen Voraussetzungen wurde die szenarienbasierte Abschätzung der rücklaufenden Altbatterien des Kooperationspartners AIP in die jährlich verfügbare Kapazität an Altbatterien umgerechnet. Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der theoretischen Altbatterie-Kapazität im pessimistischen Szenario in MWh/Jahr. In diesem Fall stehen nach dem Jahr 2035 jährlich 1300 MWh zur Verfügung.

Zusätzlich zu dem ungewissen Zustand der rücklaufenden Batteriesysteme stellt die Kenntnis des zukünftigen Verhaltens der Batterien eine große Herausforderung dar. Aus diesem Grund werden Untersuchungen an standardisierten Laborzellen begonnen. Diese werden charakterisiert und unter definierten Bedingungen zyklisiert. Die Charakterisierung dient ebenfalls der Bestimmung der Kenngrößen der Zellen zur Nutzung in einer Simulationsumgebung. Es wurde eine Batterie-Modell in MATLAB-Simulink entworfen und anhand der ermittelten charakteristischen Werte kalibriert. Zum Zweck der Charakterisierung wird die Elektrochemische

Impedanzspektroskopie (EIS) eingesetzt. Weiterhin werden alternative Verfahren untersucht, die Charakterisierung mit geringem Aufwand und ausreichender Genauigkeit erlauben.

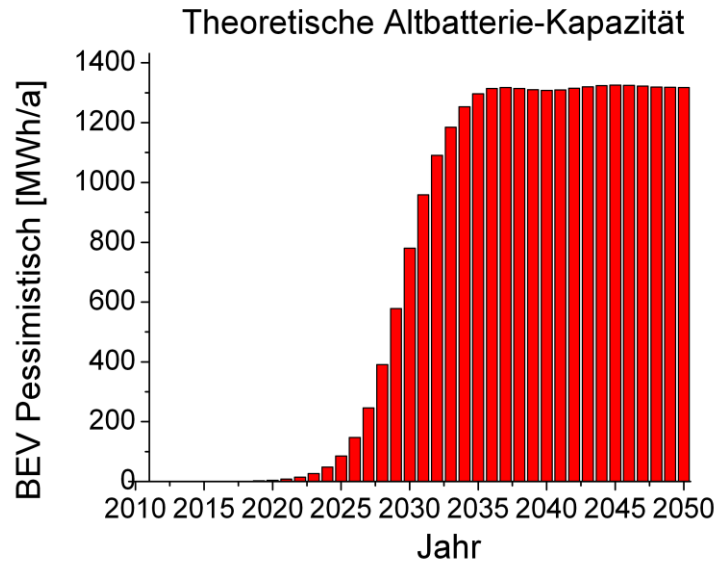


Abbildung 1: Theoretische Altbatterie-Kapazität

Figure 1: Theoretical return of batteries

### LithoRec – Recycling of Lithium-Ion Batteries

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hannes Haupt*

Electric vehicles make great demands on battery systems. The necessary power has to be supplied for driving ranges >100km over the whole lifetime of the vehicle. Stresses put on the battery system vary with the rate of electrification of the vehicle. Table 1 shows the characteristics Capacity and Number of Cells for 3 different degrees of hybridization.

The state of health of a battery system degrades continuously over the time of use. For instance the usable capacity degrades due to the loss of active material and the internal resistance rises due to changes of the electrolyte. These effects lead to a rate of degradation that prohibits the further use of the battery systems in the application. Often the quotient of the actual available Capacity  $C_{akt}$  and the nominal Capacity  $C_{nom}$  is used as a measure of the rate of degradation.

Within the project LithoRec it is assumed, that the Capacity of a Lithium-Ion-battery degrades to the level shown in Table 2.

Under these assumptions the project partner AIP has estimated the amount of returning batteries for 3 scenarios. Figure 1 shows the theoretical return of batteries over time for the so-called “pessimistic” Scenario in MWh/year. In this case, starting in year 2035, a capacity of 1300 MWh of End-of-Life batteries is available.

In order to estimate the behavior of End-of-Life batteries, a characterization and ageing of experimental cells has been started. The results of these tests are also the basis for the creation of a MATLAB/Simulink battery model.

The means of characterization is the so-called Electronic-Impedance-Spectroscopy. In addition to this, alternative methods promising simpler set-ups and faster characterization methods are being investigated.

### 3.2 Arbeitsgruppe Gleichstromsysteme - Working Group DC Power Systems

#### Aufbau einer HGÜ-Prüfanlage zur Verlustbetrachtung an Leistungshalbleitern

Dipl.-Ing. Ole Binder

Über die letzten Jahrzehnte sind die Anforderungen an die elektrischen Netze europaweit gestiegen. Es muss mehr Energie übertragen werden und die Netze müssen in deutlich höherem Maße in der Lage sein untereinander Energie zu transferieren. Gleichzeitig sollen große erneuerbare Energiequellen für die Energieversorgung erschlossen werden, um ehrgeizige Klimaschutzziele erfüllen zu können. Als mögliche Quellen wurden die *Offshore*-Windenergie in den Meeren Nordeuropas sowie die Solarenergie in Südeuropa, Nordafrika und im Nahen Osten ausgemacht. Die Netze stoßen im Bereich der Energieübertragung an ihre Kapazitätsgrenzen. Um den gestiegenen Anforderungen und neuen Aufgaben gerecht zu werden, sind Netzerweiterungen notwendig. Die bereits seit Jahrzehnten eingesetzte Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ) wird als Schlüssel betrachtet, um neue Netzstrukturen für die Energieversorgung von morgen zu schaffen und Energie verlustarm selbst über große Entfernungen übertragen zu können.

Insbesondere von den jüngeren selbstgeführten HGÜ-Umrichtersystemen, die unabhängig von einem vorgelagerten Drehstromnetz operieren können, verspricht man sich die Möglichkeit Gleichstromnetze zu errichten. Doch einige Fragen sind zu klären; beispielsweise wie eine präzise und rückführbare Messtechnik bereitgestellt werden kann, die die Verluste beim Energietransport erfasst und die Abrechnung auf wirtschaftlicher Seite ermöglicht. Verlustfaktoren sind sowohl im Bereich der elektrischen Leitungen als auch in den Konverterstationen zu suchen. Seit 2010 arbeitet das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) gemeinsam mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) an Verfahren zur Verlustbestimmung an selbstgeführten Konvertern. Im Fokus der Untersuchungen am elenia stehen Hochleistungs-IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors; Abbildung 1), die durch ihr schnelles Schaltverhalten besondere Anforderungen an die Messtechnik stellen. Geforscht wird mit weiteren europäischen Metrologieinstituten im Rahmen des EU geförderten Projekts *ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current*.



Abbildung 1: Untersuchte IGBT-Module  
Figure 1: Researched IGBT modules

Am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen wurde bereits Ende 2010 eine Prüfanlage für Leistungshalbleiter in Betrieb genommen. Der Prüfkreis wird über eine vorgeladene Kondensatorbank gespeist, die die maximal zulässige Gleichspannung auf 2,5 kV begrenzt. Die von der PTB bereitgestellte Messtechnik wird in der Prüfanlage einge-



setzt, um die schnellen Schaltvorgänge der IGBTs zu erfassen und die Energieverluste zu bestimmen. Um die Untersuchungsmöglichkeiten zu erweitern, wurde die Prüfanlage 2011 weiterentwickelt (Abbildung 2). Im erweiterten Testkreis sind nun Spannungen bis 10 kV möglich. Unterschiedliche IGBT-Konfigurationen, wie einzelne IGBT-Module, IGBT-Stacks und IGBT-Submodule werden untersucht.

### **Constructing a HVDC Test Field for Research on Power Semiconductor Power Loss**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Since 2010 the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) and Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) cooperate in the field of loss measurement of self-commutating converter. In the focus of research at elenia are high power IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors; figure 1) that make high demands on the measurement system because of the IGBT fast switching capability. Together with further



Abbildung 2: Erweiterte HGÜ-Prüfanlage am elenia

Figure 2: Enhanced HVDC test field at elenia

European metrology institutes the research is done in the framework of the project *ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* funded by EU. In the end of 2010 a test field for power semiconductors was put into operation at elenia, already. The test circuit is fed by a precharged capacitor bank that limits the dc voltage to a maximum of 2.5 kV. The measurement system calibrated at PTB is used to detect current and voltage waveforms during IGBT switching and to determine the power loss. In 2010 an enhanced HVDC test field was constructed (figure 2). It is designed to provide dc voltages up to 10 kV. Different IGBT configurations like single IGBTs, IGBT stacks and IGBT submodules can be tested.

### **Modellbildung von IGBT für HGÜ-Konverter**

*Dr.-Ing. Vladimir Ermel*

Der geplante Einsatz von HGÜ-Anlagen in nationalen und internationalen Netzen erfordert eine umgehende Ausarbeitung der Metrologie zur präzisen Erfassen der übertragenen Energie. Einen wichtigen Beitrag dafür liefert das abgeleitete Messverfahren zur Erfassung der entstehenden Energieverluste in hocheffizienten HGÜ-Netzen. Ein großer Teil der Energieverluste

wird durch Schaltvorgänge in den Konvertern hervorgerufen, die Bestandteil der Energieübertragung sind. Für eine Steigerung der Effizienz wird eine Modellbildung von IGBT-Stacks und Submodulen erarbeitet.

Der Prüfstand zur Erfassen der Transienten ist in Abbildung 1 dargestellt. Die dargestellten Kurven zeigen den Kollektorstrom eines Hochleistungs-IGBT der Fa. ABB in Abhängigkeit von der Kollektor-Emitter Spannung auf (kontinuierliche Linien). Im Vergleich dazu sind die in PSPICE simulierte Kurven gestrichelt dargestellt. Die Parameter der PSPICE-Modelle werden aus den experimentell gewonnenen Kurven ermittelt.

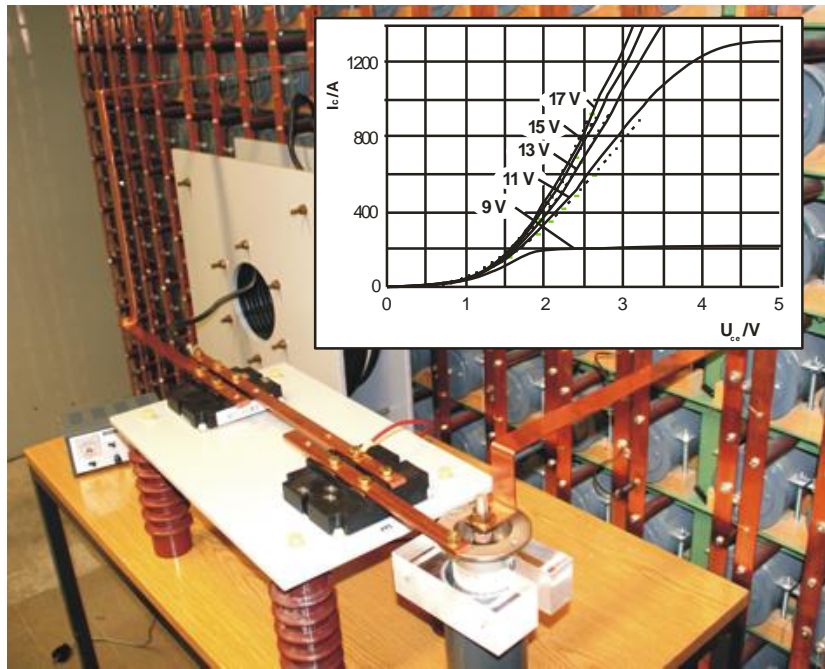


Abbildung 1: Prüfstand zur Erfassen der IGBT-Transienten und Kollektorstrom des Leistungs-IGBT

Figure 1: IGBT test field and collector current of power IGBT

## Modelling of IGBT in HVDC converter

*Dr.-Ing. Vladimir Ermel*

Application of HVDC lines into national and international networks requires an adequate metrology for precise acquirement of transported energy. An important contribution for the evaluation of the effectiveness of the HVDC converters is the acquirement of the energy losses. One main part of the energy losses is caused by the switching processes in converters; these are enclosed in conventional topology of the transmission line. Simulation of the power switches contributes to an improved HVDC efficiency.

The test field for investigation of transients in the converter is represented in figure 1. The curves show collector current of the power IGBT as a function of the collector-emitter voltage (continuous lines) in comparison to PSPICE simulated curves (dotted lines). The experimental curves verify the PSPICE models.

## Batteriediagnostik und -alterung

*Dr. rer. nat. Thorsten Kroker*

Eines der zentralen Themen der Automobilindustrie ist die Weiterentwicklung von Batteriesystemen, die im Rahmen der Elektromobilität und der Hybridtechnologie zum Einsatz kommen sollen. Das ideale Batteriesystem besitzt eine maximale Kapazität und Lebensdauer, bei minimalem Gewicht und Anschaffungskosten. Auch moderne Batteriesysteme können nicht alle diese Anforderungen erfüllen. Die Verbesserung der Batteriesysteme liegt daher im Fokus der Forschung für die Elektromobilität.

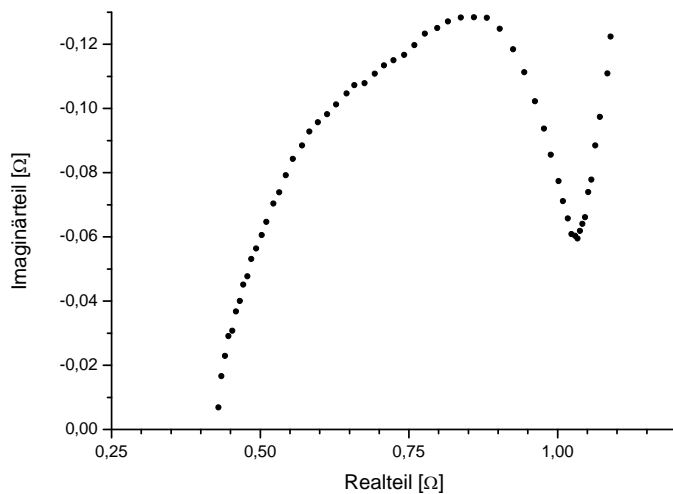


Abbildung 1: EI-Spektrum einer Spezialbatterie

Figure 1: EI-spectra of a special battery

Ein weiteres Thema hoher Signifikanz ist zusätzlich die Integration eines schnellen und zuverlässigen Batteriediagnosesystems in den Bordcomputer von Elektroautos. Wünschenswert wäre, wenn jede einzelne Zelle des Batteriesystems gezielt angesteuert und gegebenenfalls vom Batteriesystem abgetrennt werden kann. Auf diese Weise kann die Lebens-

erwartung eines Batteriesystems erheblich gesteigert werden. Ferner erlaubt ein solches Diagnosesystem ein schnelles Auswechseln defekter Zellen. Hier koppelt das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) an und erforscht gezielt Alterungsmechanismen an Batterien, die in Kooperation mit verschiedenen interdisziplinären Projektpartnern speziell für das elenia hergestellt werden. Als Analyseverfahren wird die sogenannte Elektrochemische-Impedanz-Spektroskopie (EIS) eingesetzt (siehe Abbildung 1).

Mit ihr werden die Spezialbatterien in einem Frequenzbereich von 50 mHz bis 100 kHz untersucht und Ersatzschaltbilder zur theoretischen Beschreibung ermittelt (Abbildung 2).

Aus den bisher bekannten Alterungsmechanismen lässt

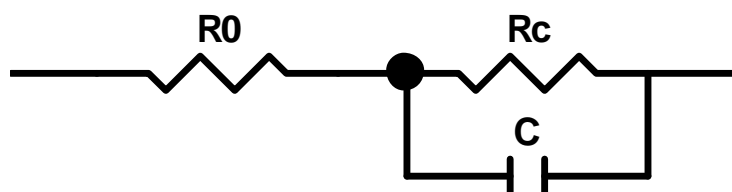


Abbildung 2: Ersatzschaltbild

Figure 2: Equivalent circuit diagrams

sich ein Diagnoseverfahren ableiten, um die Testbatterien möglichst schonend zu betreiben und so deren Lebenserwartung signifikant zu steigern. Der letzte Schritt ist die Übertragung des entwickelten Diagnosesystems und des Alterungsmechanismus auf Batteriesysteme von Elektroautos.

### **Diagnostic of Batteries and Aging**

*Dr. rer. nat. Thorsten Kroker*

One of the key issues of automotive industry is evolving battery systems that are used in electro mobility or hybrid technologies. The ideal battery system possesses a maximal capacity and lifetime, at a minimal weight and cost. Even modern battery system cannot face this challenge. Increasing performance of the battery systems is one of top research focus.

Another significant topic is to develop a diagnostic system for vehicle batteries. Such a diagnostic system can be integrated in the car computer and protect the battery system increasing its lifetime significantly.

The Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) investigates the mechanism of the lifetime of a special kind of battery, which is produced by several interdisciplinary project partners. The analytic system is the Electro-Chemical-Impedance-Spectroscopy (EIS) (Figure 1). The special batteries are analyzed with a frequency from 50 mHz to 100 kHz. By means of this analysis equivalent circuit diagrams (Figure 2) can be determined. Using this data a diagnostic method can be developed and integrated in the car computer system to increase the lifetime of the battery system.

### **Aufbau eines Gleichstrom-Messplatzes zur Kalibrierung von DC fähigen Stromwandlern.**

*Dipl.-Ing. Johann Meisner*

Die Hochspannungs-Gleichstromübertragung erfreut sich in den letzten Jahrzehnten eines rasanten Aufstieges. Eine präzise Messtechnik auf diesem Bereich ist schon heute und auch in der Zukunft unverzichtbar. Aus diesem Grund beschäftigt sich die Abteilung *Elektrische Energiemesstechnik* der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt sowohl mit dem Gebiet der DC-Hochspannungssensoren als auch mit der DC-Hochstrommesstechnik.

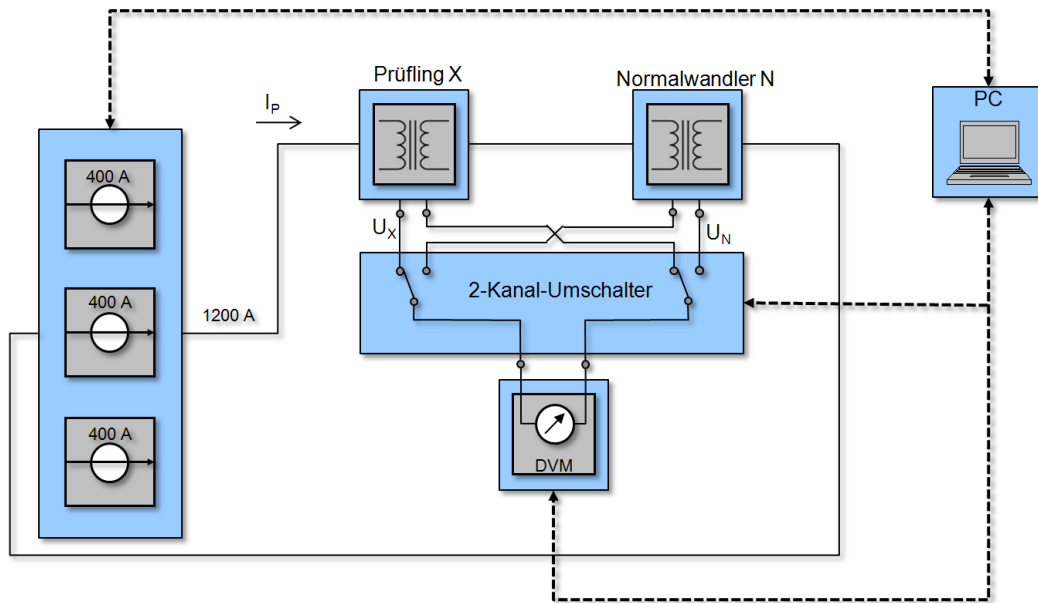


Abbildung 1: Aufbau des DC Hochstrommessplatzes

Figure 1: dc high current test circuit

Im Rahmen des Aufbaus des Bereiches DC-Energiemesstechnik wurde ein rechnergestützter Gleichstrom-Kalibrierplatz für hohe Ströme bis zu 1200 A eingerichtet. Hier können DC-fähige Stromwandler und andere Gleichstromsensoren auf Ihre Genauigkeit untersucht werden.

Wie in der schematischen Abbildung 1 dargestellt, besteht der Messplatz aus drei identischen, parallel geschalteten 400 A Stromquellen, einer Steuer- und Auswertesoftware sowie einem auf das PTB-Normal zurückgeführten DC-fähigen Nullflusswandler. Mit Hilfe eines Zwei-Kanal-Umschalters ist die Durchführung einer Vergleichsmessung zwischen Prüfling und Normal-



Abbildung 2: DC Hochstrommessplatz

Figure 2: dc high current test setup

wandler mit nur einem Präzisions-Digitalvoltmeter möglich. Dieser Aufbau des Prüfstandes verhindert den Einfluss von Unsicherheitsfaktoren, wie z.B. einer möglichen Drift der Stromquellen. Abbildung 2 zeigt den Prüfstand im Aufbauzustand.

Zur Bestimmung der Erweiterten Messunsicherheit des Prüfstandes für Gleichströme bis 1200 A wurde die Rückführung des Normalwandlers mittels einer Vergleichsmessung des Nullflusswandlers mit dem Normalmesssystem für 100 A unter Betrachtung aller Einflussgrößen durchgeführt.

### **Development of a measuring and calibration setup for dc capable current transducers**

*Dipl.-Ing. Johann Meisner*

Due to the rising demand on HVDC measuring devices, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt is engaged in the metrology of HVDC. In this context the new working field DC Energy Measurement Technology at the PTB is arising. To calibrate dc capable current transducer a measurement setup was build up and traced back. The test circuit consists of three 400 Ampere current sources in parallel, a standard dc current transducer and the measuring and calculation devices. With the aid of a two-channel-switch, the secondary voltage of the standard transducer and the device under test can be measured by a digital voltmeter simultaneously. Special software was created to control all devices in the setup and to readout the measuring equipment. Thus, the evaluation of deviations and uncertainties during a calibration can be done automatically.

### **Messtechnik zur Bestimmung von Wirkungsgraden an HGÜ-Umrichtern**

*Dipl.-Ing. Enrico Mohns*

Für die Bestimmung des Wirkungsgrades von Hochspannungsumrichtern sind geeignete breitbandige und ggf. gleichstromfähige Spannungs- (VT) und Stromwandler (CT) zur Anpassung der Hochspannungs- bzw. Hochstromsignale auf die Signalpegel von einigen Volt bzw. einigen 10... 100 mA eines Multikanal-Leistungsanalysators notwendig. Dieser bestimmt getrennt über die kalibrierten Wandlerübersetzungen die jeweilige Ein- und Ausgangsleistung des Umrichters und berechnet seinen Wirkungsgrad. Hier ergeben sich jedoch erweiterte Anforderungen an die Messplätze zur Kalibrierung der VT's, der CT's und des Leistungsanalysators bezüglich Signalform (AC und DC Mischströme), der Bandbreite (DC bis etwa 20 kHz) und der Signalpegel, mit der die Komponenten kalibriert werden müssen. In einem ersten Schritt wurde ein Messplatz zur präzisen Wechselstromkalibrierung der VT's und CT's bei den technischen Frequenzen (50 / 60 Hz) entwickelt und untersucht.

Der Messplatz benutzt ein in der PTB verbreitet eingesetztes Verfahren zur Bestimmung ratiometrischer Wechselspannungsverhältnisse. Bei dem hier untersuchten Messsystem wird eine Kurvenform synchronisiert zur Abtastfrequenz im Voltbereich erzeugt und einem geeigneten Leistungsverstärker mit einer Bandbreite von 15 kHz zugeführt. Die Ausgangspegel des Leistungsverstärkers liegen im Bereich bis max. 270 V<sub>rms</sub> bzw. 100 A<sub>rms</sub>, entsprechend einer max.

Leistungsabgabe von 30 kVA. Daher sind entsprechende Erzeugertransformatoren zur Anpassung an die gewünschten Messgrößen, beispielsweise 20 kV oder 200 A, notwendig. Über geeignete Normalwandler kann nun ein VT bzw. CT durch ratiometrischen Vergleich der Ausgangsspannungen charakterisiert werden. Im Gegensatz zu den üblicherweise im Messwandlerbereich eingesetzten Brückenverfahren besteht jedoch an die Stabilität und Qualität der erzeugten Signale eine erhöhte Anforderung.

Daher wurde der Leistungsverstärker bezüglich seiner Stabilität und Signaltreue bei 50 und 60 Hz untersucht. Im Bild 1 ist im linken Teil des Bildes die ratiometrische Stabilität des Verstärkungsfaktors von  $G = 50$  sowie der Phase bei  $U_{\text{out}} = 240 \text{ V}$  (entsprechend 4,8 V Eingangsspannung) über einen Zeitraum von etwa drei Stunden dargestellt. Die Driftrate liegt bei etwa 30 ppm / h bzw. 2  $\mu\text{rad}$  / h. Die über einen Zeitraum von einigen zehn Sekunden (typ. Messzeit einer Kalibrierung) erreichbare Stabilität kann entsprechend dem Bild mit etwa  $\pm 10 \text{ ppm}$  angenommen werden. Dies ist ausreichend, da die nachgeordnete Kalibrieranordnung eine Quellendrift stark unterdrückt (ca. 10... 20 mal). Die erreichbare Standardabweichung liegt damit im Bereich von typisch 0,5 ... 1 ppm bzw.  $\mu\text{rad}$ , was auch durch entsprechende Messungen nachgewiesen wurde. Im rechten Teil des Bildes sind die Verzerrungen des Verstärkers dargestellt. Die Gesamtverzerrung liegt bei etwa -90 dBc (THD+N). Im Vergleich zu den heutzutage üblicherweise aus Kostengründen eingesetzten digitalen, auf Pulsweitenmodulation basierten Digitalverstärkern hoher Leistung ist das hier gezeigte Klirrspektrum deutlich besser. Die Rauschauflösung des Messsystems betrug -140 dBc.

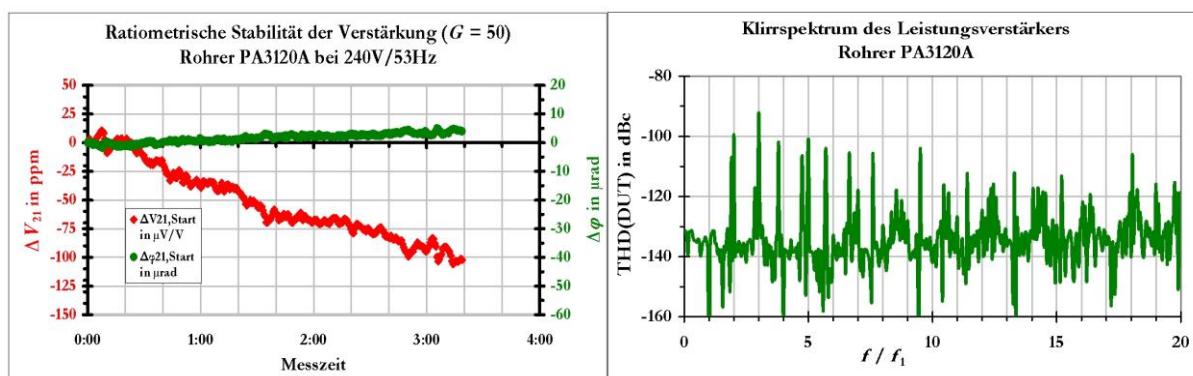


Abbildung 1: Kurzzzeitstabilität von Betrag und Phase des analogen Leistungsverstärkers „Rohrer PA3120A“ (15/30kVA) bei 240 V Ausgangsspannung und 53 Hz (linkes Bild).

Im rechten Bild ist das gemessene Klirrspektrum zu sehen.

Figure 1: Short term stability of the gain and the phase of the analogue power amplifier „Rohrer PA3120A“ at 240 V and 53 Hz (left part of the figure).

The right part shows the distortion spectra of the amplifier.

## **Development of measurement systems to determine efficiency of HVDC converters**

*Dipl.-Ing. Enrico Mohns*

To determine the power efficiency of HVDC converters the components of a measurement system consisting of a power analyzer and its transducers (i.e. high voltage and high current sensors) have to be characterized. To calibrate such voltage or current transducers, a measurement system is constructed. It consists on a synchronized generation and sampling system. The generated voltage is fed to an analogue high power amplifier to generate the desired test voltage or test current (e.g. 20 kV, or 200 A) via adequate range transformers.

In a first step the quality of the generation system and the high power amplifier is assessed. Figure 1 shows the short-term stability of the amplifiers gain and phase displacement and its measured distortion spectra. The stability is around 30 ppm / h respectively 2  $\mu$ rad / h. The total harmonic distortion is THD+N = -90 dBc. First tests with typical voltage or current transformers show that the stability of the generation system is sufficiently high to achieve Typ-A standard deviations well below 0.5... 1 ppm (or  $\mu$ rad) for the ratio error and phase displacement of the transformers to be calibrated.



### 3.3 Arbeitsgruppe Isoliersysteme - Working Group Insulation Systems

#### Untersuchungen zur Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

Supraleitende Betriebsmittel benötigen für die ordnungsgemäße Funktion der supraleitenden Komponente eine Kühlung. Diese kann bei Hochtemperatursupraleitern (HTS) kostengünstig mit flüssigem Stickstoff (LN<sub>2</sub>) erfolgen, der den Supraleiter auf ungefähr -200°C abkühlt. Um einen sicheren Betrieb der Anlagen gewährleisten zu können, muss zusätzlich zur tiefen Temperatur eine ausreichende elektrische Isolierung sichergestellt werden. Hierbei bietet es sich an, das Kühlmedium LN<sub>2</sub> ebenfalls zur elektrischen Isolierung der supraleitenden Komponenten zu verwenden. Erschwerend kommt bei supraleitenden Geräten hinzu, dass im Falle eines Quenches (Übergang vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand) viel Energie in das Kühlmedium eingetragen wird und dieses verdampft. Die Bereiche mit gasförmigem Stickstoff schwächen die elektrische Isolation, sie dürfen allerdings nicht zu einem Ausfall der Isolation führen. Um diesen Zustand elektrisch bewerten zu können, sind Untersuchungen von Stickstoff und blasendurchsetztem flüssigen Stickstoff im Hinblick auf sein Isoliervermögen nötig.

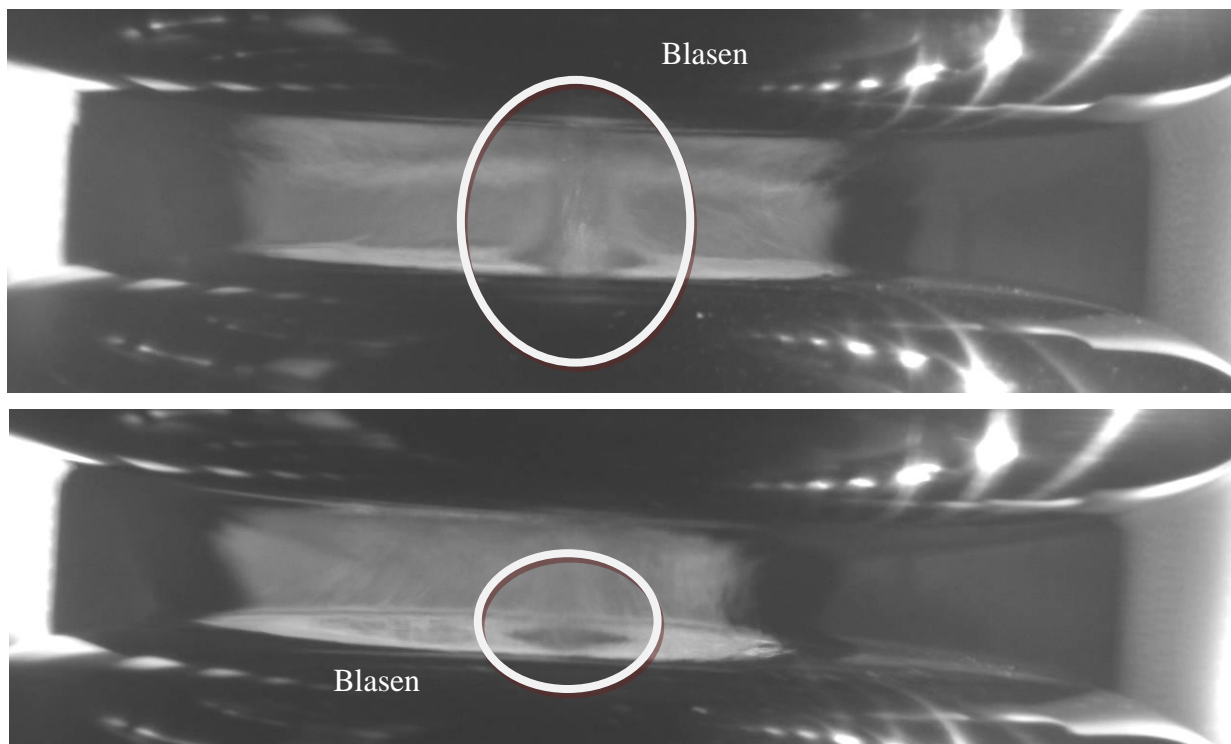


Abbildung 1: Blasenaufkommen an der beheizten Elektrode.

Oben bei 3 bar<sub>abs</sub>. Unten bei 5 bar<sub>abs</sub>

Figure 1: Bubble amount on the heated electrode. Top at 3 bar<sub>abs</sub>. Bottom at 5 bar<sub>abs</sub>

Untersuchungen zum Einfluss von Blasen auf das Isoliervermögen werden in diesem Forschungsprojekt zusammen mit der Siemens AG und der Nexans Deutschland GmbH durchgeführt. Dazu steht ein Kryostat der Firma Nexans Deutschland GmbH zur Verfügung, bei dem mit Drücken bis 5 bar<sub>abs</sub> und verschiedenen Temperaturen des Stickstoffs gearbeitet werden kann. Zusätzlich wurde am Institut ein Kryostat aufgebaut, um eigene Messungen bis zu einem Druck von 4 bar<sub>abs</sub> durchführen zu können. Für die Untersuchungen werden Rogowskiprofile verwendet, bei denen die untere Elektrode aktiv geheizt wird, um die Blasenherzeugung beim Quenchen nach zu bilden (Abbildung 1).

Diese Blasen haben einen erheblichen Einfluss auf die Durchschlagspannung. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass bei gleichbleibender Stickstofftemperatur das Siedeverhalten und damit das Durchschlagverhalten des Stickstoffs durch die Veränderung des Umgebungsdruckes stark beeinflusst werden kann (Abbildung 1).

### **Investigation of Discharges in Liquid Nitrogen**

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

For applications with superconducting devices it is necessary to cool the superconductor to guarantee a properly operation. Devices with high temperature superconductors (HTS) need a temperature of  $-200^{\circ}\text{C}$  for a proper function. For this temperature liquid nitrogen ( $\text{LN}_2$ ) can be used. Beside the usage as a coolant,  $\text{LN}_2$  can be also used as electrical insulation. To guarantee a proper insulation the electrical behaviour of the liquid has to be known to avoid discharges during the nominal operation. Especially the behaviour of a mixture of liquid and gaseous nitrogen is important because of the occurrence of bubbles during the quench of a superconductor.

These situations are investigated within this research project together with Siemens AG and Nexans Deutschland GmbH. Measurements show a large influence of the bubbles on the insulation ability of the liquid nitrogen. But the boiling behaviour of the bubbles can be influenced with varying the pressure of the liquid at a fixed temperature (Figure 1).

### **Dielektrisches Verhalten von Bedampfungsschichten auf Keramikoberflächen unter Vakuum**

*Dipl.-Ing. Ingo Gramberg*

Vakuumschaltkammern haben sich über mehrere Jahrzehnte hinweg als äußerst zuverlässig und wirtschaftlich im Bereich der Mittelspannung etabliert. Ihre lange Lebensdauer und der Verzicht auf umweltschädliche Treibhausgase wie z.B.  $\text{SF}_6$  führen zu dem Bestreben, das Einsatzgebiet der Vakuumschaltkammern auch auf höhere Spannungsebenen auszudehnen.

Während einer regulären Stromabschaltung tritt maximal für die Dauer einer Halbwelle bis zum nächsten Stromnulldurchgang ein Lichtbogen zwischen den sich öffnenden Schaltkontakten auf. Der bei der Kontaktmaterialaufschmelzung entstehende Metalldampf kondensiert nicht nur auf den dafür vorgesehenen Dampfschirmen, sondern auch auf den Schaltkammerkeramiken. Mit Metalldampf verunreinigte Keramikoberflächen gewinnen mit zunehmendem Grad der Verunreinigung an Leitfähigkeit. Die Schaltkammer ist ab einem bestimmten Bedampfungsgrad nicht mehr dazu in der Lage die geforderte Spannung sicher zu halten.

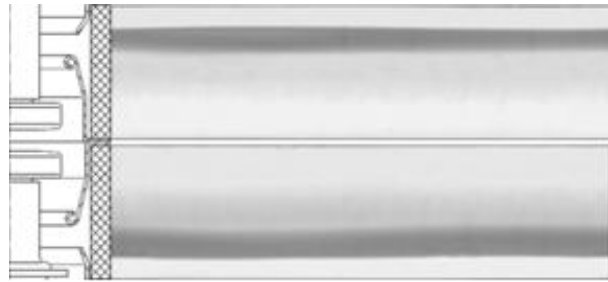


Abbildung 1: Bedampfte Schaltkammerkeramik nach häufigen Laststromschaltungen

Figure 1: Evaporation layers on VI ceramic after switched load currents

Die Auswirkungen der Bedampfungsschichten auf die dielektrischen Eigenschaften der Schaltkammern wurden mit Hilfe von Blitzstoßspannungsmessungen untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass mit wachsender Bedampfung in Längsrichtung der Schaltkammer auch die Spannungsfestigkeit abnimmt. Sehr gleichmäßige und vergleichsweise schmale Bedampfungen wie sie in Abbildung 1 zu sehen sind, hatten bei den durchgeführten Untersuchungen einen geringen Einfluss auf die Spannungsfestigkeit. Erst wenn die Schichten sich fleckartig ausbilden, wie dies in Abbildung 2 zu sehen ist, konnte eine deutliche Abnahme der Spannungsfestigkeit festgestellt werden.

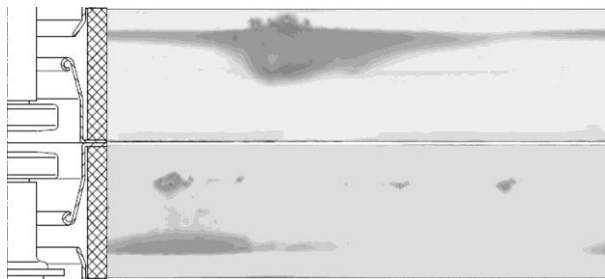


Abbildung 2: Bedampfte Schaltkammerkeramik nach wenigen Kurzschlusschaltungen

Figure 2: Evaporation layers on VI ceramic after a few short circuit switching operations

Die Auswirkungen der Bedampfungsschichten auf die dielektrischen Eigenschaften der Schaltkammern wurden mit Hilfe von Blitzstoßspannungsmessungen untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass mit wachsender Bedampfung in Längsrichtung der Schaltkammer auch die Spannungsfestigkeit abnimmt. Sehr gleichmäßige und vergleichsweise schmale Bedampfungen wie sie in Abbildung 1 zu sehen sind, hatten bei den durchgeführten Untersuchungen einen geringen Einfluss auf die Spannungsfestigkeit. Erst wenn die Schichten sich fleckartig ausbilden, wie dies in Abbildung 2 zu sehen ist, konnte eine deutliche Abnahme der Spannungsfestigkeit festgestellt werden.

Dass tatsächlich die Bedampfungsschichten für die Reduzierung der Spannungsfestigkeit verantwortlich sind belegen Schirmpotentialmessungen am Dampfschirm der Vakuumschaltkammern, die während der Blitzstoßspannungsversuche aufgenommen wurden. Darüber hinaus hinterließen Durchschläge innerhalb der Schaltkammer punktförmige Bedampfungen am jeweiligen Ort des Durchschlages. Diese Bedampfungsspots waren immer im Bereich der durch vorangegangene Schaltungen verursachten großflächigsten Bedampfungen zu finden. Schichtanalysen nach dem Prinzip der Elektronenstrahl-Mikro-Analyse haben gezeigt, dass diese Bedampfungen von den Kontaktschirmen herrühren und somit eindeutig auf die Blitzstoßspannungsversuche zurückzuführen sind. Der sich zwangsweise ergebende Tripelpunkt in einer Elektroden-Isolator-Vakuum-Strecke stellt grundsätzlich den kritischen Teil einer solchen Anordnung dar. Von hier ausgehend können Primärelektronen generiert werden, welche dann im weiteren

Verlauf einen Durchschlag einleiten. Wenn zusätzlich CuCr Bedampfungsschichten in der Nähe dieses Bereiches vorhanden sind, können Durchschläge schon bei verminderter Feldstärke initiiert werden. Die Erforschung dieses Effektes, zusammen mit dem Bedampfungsprozess und sich daraus ableitender Optimierungsmöglichkeiten der Vakuumschaltkammer, ist Bestand weiterer Untersuchungen.

### **Dielectric characteristics of evaporation layers on ceramic surfaces in vacuum**

*Dipl.-Ing. Ingo Gramberg*

Vacuum interrupters (VI) have been established for decades as a good technique, fulfilling the task of switching high currents and disconnecting electrical equipment. For reasons of economy and environment-friendliness, VIs have been investigated to work even at difficult operation conditions and high voltages.

Switching operation of vacuum interrupter with load or short circuit current generates substantial masses of metal vapor which condenses at the inner surface of the components of vacuum interrupter. Alumina ceramic that is covered with a metal film will lose its insulation properties that can lead to surface flashovers. Even after a large number of switching operations, VIs must be able to withstand the dielectric stress that they have been constructed for. The amount of evaporated contact material depends on the interruption current and the arcing time. Measurement of the influence of evaporation layers on dielectric performance of vacuum interrupter can be done by lightning impulse voltage test. Irregular evaporation layers caused by switching operations of currents near maximum of VI's rated short circuit current were found to be most critical. Switching operations of currents lower than half of maximum rated short circuit current generated ring shaped layers on ceramic surfaces.

### **Ausbreitung von Mikroplasma in porösen Werkstoffen**

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

Den elektrischen Feldstärken und somit den Isolierungen wird bei der Auslegung von Geräten und Komponenten in der Mittel- und Hochspannungstechnik besondere Beachtung geschenkt. Durch immer weitere Miniaturisierung werden auch in der Niederspannungstechnik die Isolationen immer kleiner, so dass man hier auch schon von einer Hochfeld- bzw. Hochspannungstechnik reden kann. Die Isolierungen sind fertigungstechnisch nicht homogen und ideal. Hierdurch können sich in den vorhandenen Hohlräumen Entladungen bilden. Diese sogenannten Mikroplasma bzw. Teilentladungen führen zur Degradation des Feststoffes, wodurch letztendlich ein Versagen der Isolierung verursacht wird. Seit langem wird zusätzlich zur Gewichts- und Kostenreduzierung der Einsatz von porösen Isolierstoffen (Schäume) angestrebt.

Ihre Einsatzmöglichkeiten in hohen elektrischen Feldern sind allerdings kaum möglich durch die meist gasgefüllten Hohlräume, in denen Teilentladungen gezündet werden können.

Daher werden grundlegende Untersuchungen der Ausbreitungsmechanismen von Mikroplasmen bzw. Teilentladungen an einfachen Modellen für poröse Werkstoffe gemacht. Es werden hierzu verschiedene Hohlraumanordnungen mit und ohne Verbindungskanal zwischen den Hohlräumen erstellt und untersucht. Numerische Simulationen (COMSOL Multiphysics) liefern Informationen über die elektrische Feldverteilung in den unterschiedlichen Anordnungen. Die räumliche und zeitliche Ausbreitung der Entladungen wird optisch mit einer Schnellbildkamera unter Zuhilfenahme eines Fernmikroskops erfasst. Diese Messdaten werden mit 2D- und 3D-Plasma-Simulationen (PIC-MC und SIPDP) von räumlichen und zeitlichen Ausbreitungen der Entladung verglichen. In Abbildung 1 kann man die Elektronendichtefunktion in einem inneren Hohlraum bei einem Zeitschritt einer 3D-PIC-MC Simulation sehen. Mit der Teilentladungsmesstechnik aufgenommene Kennwerte (wie Amplitude und Phasenlage) liefern weitere Daten zur Klassifizierung der Entladungen. Dieses Verhalten wird über konzentrierte Ersatzelemente mit dem Schaltungssimulationsprogramm PSPICE nachgebildet.

Aus diesen Untersuchungsergebnissen sollen grundlegende Mechanismen für die Ausbreitung von Mikroplasmen in porösen Werkstoffen abgeleitet werden. Mit der Kenntnis der Ausbreitungsvorgänge können allgemeine Aussagen zur Behandlung von porösen Werkstoffen und deren Einsatz als Mikroisolation getroffen werden.

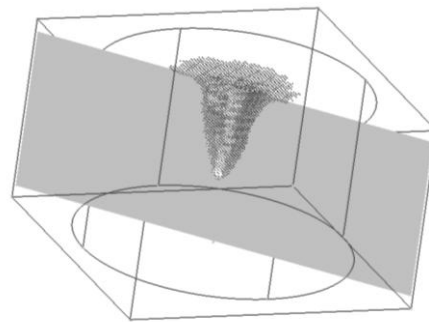


Abbildung 1: 3D-PIC-MC Plasmasimulation der Elektronendichtefunktion in einem inneren Hohlraum

Figure 1: 3D-PIC-MC plasma simulation of the electron density function in an inner cavity

### Microplasma-propagation in porous materials

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

Nowadays, electric fields in high-voltage applications are getting stronger and stronger due to reductions in size. Moreover, in low-voltage applications the micro insulation has to have the same setup like high-voltage one's. During the production process different forms of inhomogeneity and voids can be created in the insulations.

Within this voids discharges can occur and may lead to destructions. These discharges are called microplasmas or partial discharges. To reduce the weight, porous materials are planned to be used as insulations instead of solid materials. This results in even more inner voids that lead to further challenges in the contest of partial discharges.

Therefore, investigations are completed to determine the behavior and the physical mechanisms of microplasma propagation. The expansion in time and space of discharges can be captured optically with a long-range microscope and a high-speed camera. Also research focusing on electric characteristics is done in order to expand the knowledge of partial discharge behavior. Results of different scenarios are compared with each other and numerical simulations (Comsol Multiphysics), PSPICE (Cadence OrCAD) and PIC-MC (from Fraunhofer-Institute). As an example of a 3D plasma simulation in PIC-MC, figure 1 shows the electron density function in an inner cavity.

### 3.4 Arbeitsgruppe Schaltgeräte - Working Group Switching Devices

#### Verhalten von Leistungshalbleitern bei Stoßbelastungen

*Dipl.-Ing. Björn Bünsow*

Frequenzumrichter, Netzwechselrichter und FACTS stellen die Lasten, Einspeiser und Netzkomponenten der Gegenwart dar. Somit ist die Leistungselektronik an allen Stellen der elektrischen Energieversorgung zu finden. Durch die aktive Beeinflussung der Schein- und Wirkleistung bei HVDC-Anlagen mit Spannungszwischenkreis und durch FACTS-Anlagen kann die Netzqualität und Übertragungsleistung gesteigert und damit die Systemstabilität positiv beeinflusst werden. Dafür sind stabile und robuste Regelungen notwendig. Anlagen der Energieversorgung weisen dazu hohe Standzeiten über mehrere Jahrzehnte auf. Um dies zu gewährleisten, müssen die eingesetzten Leistungshalbleiter allen elektrischen Beanspruchungen standhalten. In Abbildung 1 ist ein ausrangiertes HGÜ-Ventil der 1. Generation mit IGBT-Schaltern mit Feldelektroden zum Beherrschen hoher Spannungen zu sehen. Neben betrieblichen Gleich- und Wechselspannungen können auch unübliche Schalt- und Blitzstoßspannungen eintreten, die die Halbleiter überdurchschnittlich stark beanspruchen.

Heutzutage werden in vielen Applikationen Leistungstransistoren (z.B. IGBT) oder Thyristoren verwendet. Um herauszufinden, wie diese Bauteile auf Stoßströme und transiente Spannungen reagieren, werden entsprechende Untersuchungen mit diskreten Bauteilen am Institut durchgeführt. Unter anderem wird dafür die Wärmekapazität der Halbleiter ermittelt, die dem Halbleiter bei einer Überbeanspruchung als Energiedepot eine Art Schutz bietet. Bei einem Überspannungsversuch mit transienten Spannungen wird hingegen das dynamische Verhalten eines IGBT-Moduls beobachtet.

Neben experimentellen Untersuchungen wird auf theoretischem Wege, durch Simulation und analytische Berechnungen, versucht, die Verluste im Halbleiter zu bestimmen. In Abbildung 2 sind unterschiedliche Verhalten eines IGBTs auf Stoßspannungen dargestellt. Im ersten Fall ist das erwartete Verhalten innerhalb seiner Spezifikationen zu sehen, im zweiten Fall tritt bei der Überschreitung der zulässigen Sperrspannung der Avalanche Prozess ein und im dritten Fall steuert der Transistor unerwartet auf und wird teilweise leitfähig.



Abbildung 1: Hochspannungsventil 1. Generation

Figure 1: High voltage valve  
1st generation

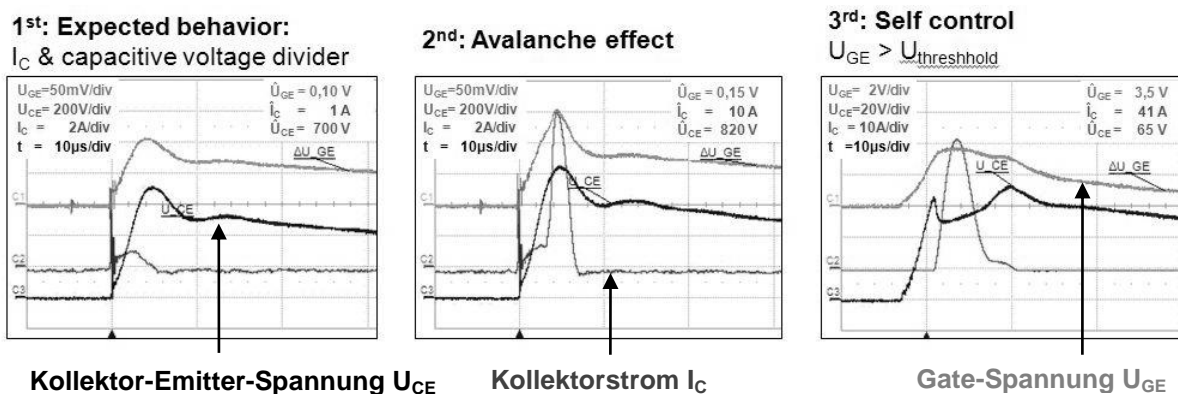


Abbildung 2: Verhalten eines IGBT bei transienten Spannungen

Figure 2: Behavior of IGBT by transient voltage

### Behavior of Power Semiconductors during stress with surge pulses

*Dipl.-Ing. Björn Bünsow*

Renewable energy generators, motor drives and FACTS are the components of electrical grid in future. These tools contain a lot of power electronics. In future more and more generators, converters and FACTS will be installed and a high lifetime is necessary. The semiconductors are optimized for high efficiency. Figure 1 shows a high voltage valve with field-electrodes. The behavior of power semiconductors during surge currents and transient voltages are investigated. Figure 2 shows the influence to an IGBT by transient voltage.

### Simulation von Niederspannungslichtbögen

*Dipl.-Ing. Julia Riß*

Um Kurzschluss- sowie Betriebsströme in elektrischen Stromkreisen auszuschalten, werden Niederspannungsschaltgeräte eingesetzt, in denen ein Lichtbogen möglichst schnell zum Verlöschen gebracht werden muss. Hierbei ist die Lichtbogenaufteilung an Löschblechen in mehrere Teilbögen ein entscheidender Mechanismus.

Um das Lichtbogenverhalten besser zu verstehen und um den Entwicklungsprozess an Schaltgeräten zu verkürzen, werden experimentelle Untersuchungen durch Simulationen ergänzt. Für die numerische Simulation eines Niederspannungsschalters mit einer Vielzahl an Löschblechen ist die Anzahl an Elementen und somit auch die Simulationszeit sehr hoch. Um Simulationen als ein Design-Tool in der Geräteentwicklung anwenden zu können, muss die Simulationszeit reduziert werden.



Ein neuer Ansatz zur Simulation von Löschblechpaketen ist daher die Vereinfachung des Löschblechstapels zu einem kontinuierlichen porösen Material. In Abbildung 1 ist links ein Simulationsmodell mit einzelnen Löschblechen und rechts mit einem porösen Ersatzgebiet dargestellt. Die zur Simulation von Schaltgeräten benötigten gasdynamischen und elektromagnetischen Gleichungen müssen im Bereich des Ersatzgebietes gemittelt werden.

Zur Mittelung der elektrischen Gleichungen wird eine anisotrope Leitfähigkeitsmatrix verwendet, die sich aus einer Parallel- bzw. Reihenschaltung der temperatur- und druckabhängigen elektrischen Leitfähigkeiten des Plasmas und des Metalls ergibt.

Zur Mittelung der gasdynamischen Gleichungen wird ein poröses Materialmodell verwendet. Das Material wird durch die sogenannte Porosität beschrieben, eine Materialeigenschaft, die das Verhältnis von Porenvolumen zum Gesamtvolumen darstellt.

In Abbildung 2 werden erste Simulationsergebnisse mit dem porösen Modell mit denen einer Referenzsimulation verglichen. Der Lichtbogen wird in beiden Simulationen einige Millimeter unterhalb des Löschblechstapels bzw. des porösen Gebiets gezündet und anschließend durch magnetische Kräfte und auftreffende Druckwellen in Richtung des Löschblechstapels bzw. des Ersatzkontinuums getrieben. In beiden Simulationen erfolgt keine Aufteilung des

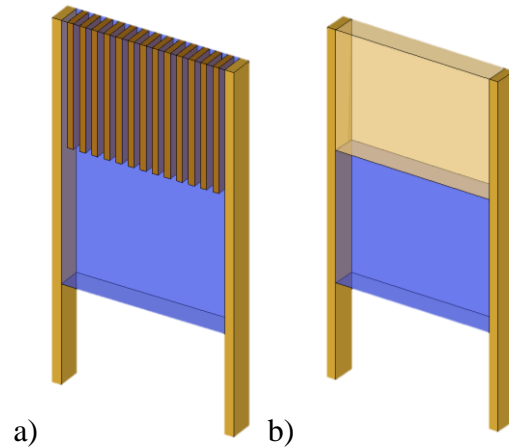


Abbildung 1: a) Löschblechstapelmodell (Referenzmodell) und b) Poröses Modell

Figure 1: a) splitter plate model (reference model) and b) porous model

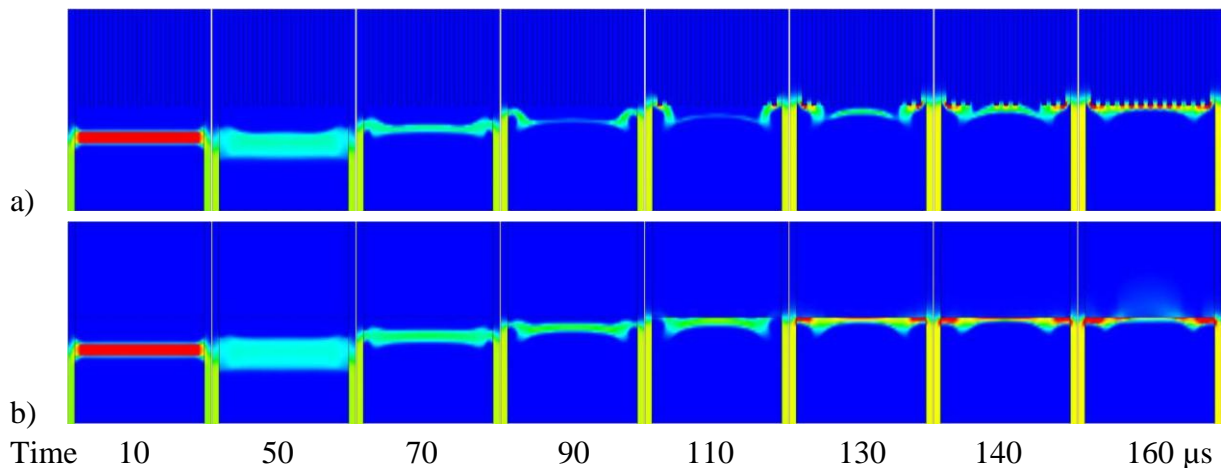


Abbildung 2: Stromdichteverteilung von Simulationen a) mit Löschblechstapel (Referenzmodell) und b) mit porösem Modell

Figure 2: Current density of simulations with a) splitter plate model (reference model) b) porous model

Lichtbogens an den Löschblechen. Vielmehr verharrt dieser vor den Löschblechen bzw. unterhalb des Ersatzkontinuums. Der Vergleich zwischen Referenzmodell und porösem Simulationsmodell zeigt somit ein sehr ähnliches Lichtbogenverhalten.

### **Simulation of low-voltage arcs**

*Dipl.-Ing. Julia Riß*

The simulation of low voltage switching devices with several splitter plates takes much computational effort and is very time intensive. To reduce the computational time a method to simplify the pile of splitter plates is studied. Therefore a porous domain substitutes the pile of splitter plates.

The gas dynamic equations are averaged by an approach of a porous material. To average the electromagnetic equations an anisotropic material behavior is assumed. Therefore the material parameters of the porous domain in pile direction and normal to pile direction are described by parallel and series connection of the temperature and pressure dependent material parameters. Figure 1 shows a simulation model with single splitter plates (left) and the simulation geometry with a porous domain (right).

In figure 2 the results of a simulation with a porous material approach is compared to a reference model consisting of 13 splitters plates. In both simulations the arc is ignited only a few millimeters below the splitter plates. The arc is driven forwards by magnetic forces and by pressure waves. In case of the splitter plate model the arc bends somewhat around the plates and in case of the porous model a low current flows through the porous domain. In both simulations no complete splitting process of the electric arc into series of arcs can be observed.

### **Untersuchungen zum Lichtbogenverhalten bei Impulsbelastung**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

In den meisten Schaltgeräten und vor allem in Funkenstrecken wird der Lichtbogen als Schaltmedium genutzt und somit eine Trennung im System zu erreichen. Dabei muss die Lichtbogenspannung beim strombegrenzenden Schalten, zu dem wir auch die Trennung durch eine Funkenstrecke zählen wollen, die Netzspannung überschreiten. Dadurch werden im Wechselstromfall die Dauer und die Amplitude des Kurzschlussstromes begrenzt.

Betrachten wir nun die Funkenstrecken genauer, so eignen sich diese sehr gut zum Ableiten hoher Ströme sowie zur Gewährleistung einer galvanischen Trennung im System. Ihr Vorteil liegt darin begründet, dass sie bei kleinem Volumen hohe Energiedichten umsetzen können.

Dabei stellt die Löschung des Lichtbogens nach dem Zündvorgang die eigentliche Schwierigkeit dar. Denn nach dem Fehlerfall soll die Funkenstrecke wieder von dem leitenden in den nichtleitenden Zustand übergehen. Das bedeutet für die Funkenstrecke, nachdem der Strom

bei möglichst geringem Energieumsatz abgeleitet ist, einen hohen Energieumsatz aufzubauen, damit die zugeführte Energie geringer als die abgegebene Energie ist und somit der Lichtbogen verlischt.

Deswegen ist es notwendig das Verständnis über die Lichtbogeneigenschaften vor allem aber auch über das Wanderungsverhalten des Lichtbogens besser zu verstehen. Hierzu wurden unterschiedliche Versuche durchgeführt, die zum Verständnis über das Laufverhalten des Lichtbogens besser verstehen helfen. Eine besondere Herausforderung ist es dabei das Lichtbogenverhalten bei kurzen Brenndauern zu analysieren, wie es bei Stoßimpulsen (Abbildung 1) der Fall ist.

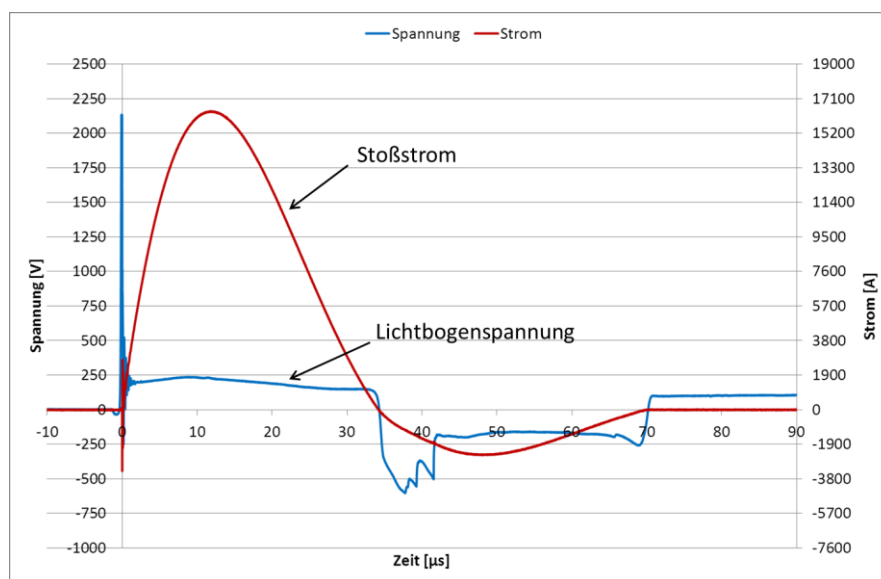


Abbildung 1: Spannungsverlauf des Lichtbogens bei Stoßstrombelastung

Figure 1: Arc voltage at impulse current

Hierbei ist zu klären, welches Verhalten der Lichtbogen aufweist und ob es zu einer Wanderung des Lichtbogens auf den Elektroden kommt oder ob der Lichtbogen an seiner Entstehungsstelle verharrt.

Untersuchungen wurden an verschiedenen Elektrodengeometrien sowie an unterschiedlichen Möglichkeiten der Lichtbogenlöschung durchgeführt.

Anhand der Lichtbogenspuren auf Elektroden und Isolierstoffen soll des Weiteren die Wanderung des Lichtbogens analysiert wird. Vergleiche der Lichtbogenspannung sowie von Oberflächenscans sollen dabei helfen.

### Analysis of electric arc behavior by impulse load

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

In most switching devices and in spark gaps, the arc is used as the switching medium. The arc voltage must be higher than the main voltage using a current-limiting switch, to which we

want to include the spark-gap. This will change the duration and limit the amplitude of the short circuit current in the current case.

The spark gap is very important for the discharge of high currents and to ensure electrical isolation in the system. The advantage of spark gaps lies in the fact that they can implement high energy densities in a small volume. The difficulty is to handle the arc with short duration. Many problems are not defined yet, like the dwell time or the entire movement of the arc. This research project will analyse the movement of the arc. The arc movement should be better understood with scans and voltage measurements (Figure 1).

## Experimentelle Untersuchung des Löschverhaltens von Gleichstromschaltgeräten für Niederspannungsanwendungen

*Dipl.-Ing. Thorsten Schrank*

Deutschlands Entwicklung zum Leitmarkt für Elektromobilität stellt Industrie und Forschung vor besondere Herausforderungen. Technische Fortschritte, etwa im Bereich mobiler Energiespeicher, haben dabei direkte Auswirkungen auf die Auslegung des Sicherheitskonzeptes des Hochvolt-Bordnetzes und bestimmen somit die Anforderungen an die Schaltgeräte. Moderne Hochvolt-Batterien arbeiten heute mit Gleichspannungen von bis zu 500 V und stellen Leistungen von mehr als 100 kW bereit. Im Fehlerfall können die generierten Ströme mehrere Kiloampere betragen. Diese Größen müssen von den eingesetzten Gleichstromschaltgeräten sicher beherrscht werden.

Zur Löschung eines Gleichstromlichtbogens eignen sich unterschiedliche Schaltprinzipien. Beim strombegrenzenden Schalten kann der Schaltlichtbogen mit Hilfe von Permanentmagneten in die Löschkammer des Schaltgerätes getrieben werden. Die Permanentmagneten werden dabei eingesetzt, um den Lichtbogenlauf zu verbessern bzw. erst zu ermöglichen, da das selbsterregte magnetische Feld des Stromes hierfür oft nicht ausreicht. Das Oszillogramm des Ausschaltvorganges eines Leitungsschutzschalters mit zusätzlichem Permanentmagnet zeigt Abbildung 1. Ein Ausschaltvorgang unter identischen Bedingungen ohne zusätzlichen Permanentmagnet ist in Abbildung 2 zusammen mit Schnellfilm-Kameraaufnahmen der Schaltkammer während der Lichtbogenlöschung dargestellt. Aus dem geringen Magnetfeld resultiert eine reduzierte Kraftwirkung auf den Lichtbogen. Dieser verharrt längere Zeit im Bereich der Kon-

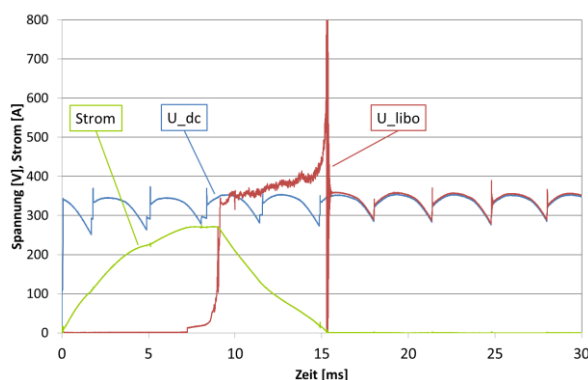


Abbildung 1: Abschaltvorgang mit Permanentmagnet  
Figure 1: Breaking process with permanent magnet

taktstücke (Zeitpunkt  $t_1$ ). Sein Einlaufen ins Löschblechpaket dauert knapp 10 ms und ist von vielen Rückzündungen begleitet, die im Oszillogramm als starke Schwankungen der Lichtbogenstromspannung sichtbar sind (Zeitpunkt  $t_2$ ). Zum Zeitpunkt  $t_3$  brennt der Lichtbogen vollständig im Löschblechpaket, was letztlich zu seinem Verlöschen und zur Stromunterbrechung führt.

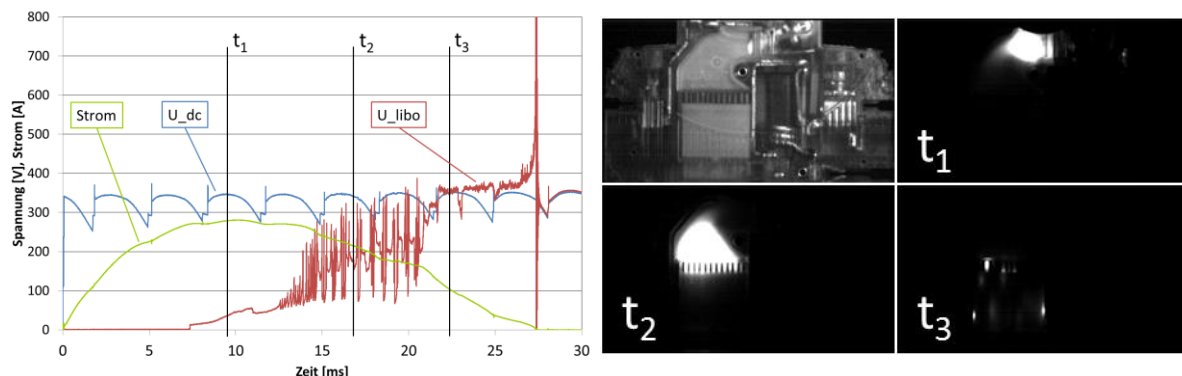


Abbildung 2: Abschaltvorgang ohne Permanentmagnet, Schnellfilm-Kameraaufnahmen

Figure 2: Breaking process without permanent magnet, high-speed camera pictures

Ziel dieses Forschungsprojekts ist die systematische Weiterentwicklung des Ausschaltverhaltens unterschiedlicher Löschmechanismen und die Untersuchung innovativer Schaltprinzipien anhand geeigneter Modellschalter wie auch kommerzieller Schaltgeräte.

### Experimental investigation of the arc quenching behavior of DC switching devices for low-voltage applications

*Dipl.-Ing. Thorsten Schrank*

Germany's industry and research institutions have to solve many challenges to become lead market of electromobility. Vehicle electrical systems operate at rated voltages up to 500 V and the power provided by high voltage batteries exceeds 100 kW. In case of failure the generated currents could attain several kiloamperes. The applied DC switchgears have to control these values under every condition.

The current limiting breaking behavior of a DC switch can be optimized by using permanent magnets to improve the arc running process. Figure 1 shows a breaking process of a circuit-breaker using a permanent magnet. A breaking operation without a permanent magnet is shown in figure 2. At first the arc remains in the contact area ( $t_1$ ). With lots of restrikes ( $t_2$ ) it slowly runs into the arc splitting chamber ( $t_3$ ).

The objective of the research project is the systematic improvement of the breaking behavior of appropriate arc quenching concepts, and the investigation of innovative switching principles based on suitable model switches and commercial breakers.

## Experimentelle Untersuchung des Bogenlaufs und der Oberflächentemperatur an Transversal-Magnet-Feld-Kontakten im Vakuum

Dipl.-Ing. Christian Wolf

Im Bereich der Mittelspannungstechnik wird in Vakuumleistungsschaltern überwiegend bei Schaltkontakten das Transversal-Magnetfeld-(TMF-) Prinzip (Abbildung 1) verwendet.

Ziel des bestehenden Forschungsprojekts ist es, das Verhalten kontrahierter Vakuumbögen zwischen Transversal-Magnetfeld- (TMF-) Elektroden sowie deren Wechselwirkung mit den Kontaktstücken experimentell bei hohen Ausschaltströmen zu untersuchen. Die Erkenntnisse sollen als Vergleichsgrundlage für theoretisch-rechnerische Modelle dienen, um Computersimulationen zu verbessern und die Entwicklung leistungsfähigerer und kompakterer TMF-Vakuumschaltkammern zu beschleunigen.

Einerseits werden hierfür 3D-Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Bogenverhaltens erstellt und unter Berücksichtigung der Strom-Spannungs-Charakteristik ausgewertet. Hierbei zeigt sich für den Einsatz von Spiralkontakten (Abbildung 1 rechts) ein deutlich umfangreicheres Verhaltensmuster als bei Topfkontakten (Abbildung 1 links).

Ein weiterer Teil der Forschungsarbeiten befasst sich mit der Messung der Oberflächentemperatur der Schaltkontakte bei Strombelastung. Hierfür wurden unter Berücksichtigung notwendiger, theoretischer Betrachtungen mehrere Versuchsaufbauten erstellt, deren Ziel es ist, die Temperatur berührungslos durch ein Schauglas zu messen. Abbildung 2 zeigt thermografische Aufnahmen eines Topfkontakts (links) und eines Spiralkontakts (rechts) bei Stromnull. Erste Messungen deuten darauf hin, dass auf Topfkontakten höhere Temperaturen auftreten als bei Spiralkontakten. Für eine genaue Aussage über den Absolutwert der Temperatur muss im weiteren Verlauf der Forschungsarbeiten eine Analyse des die Temperaturmessung ausschlaggebend bestimmenden Emissionsfaktors des Kontaktmaterials erfolgen. Hierfür soll

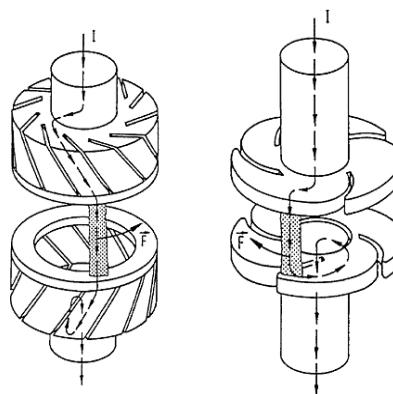


Abbildung 1: Topf- und Spiralkontaktsystem  
Figure 1: Cup- and spiral-shaped contact system

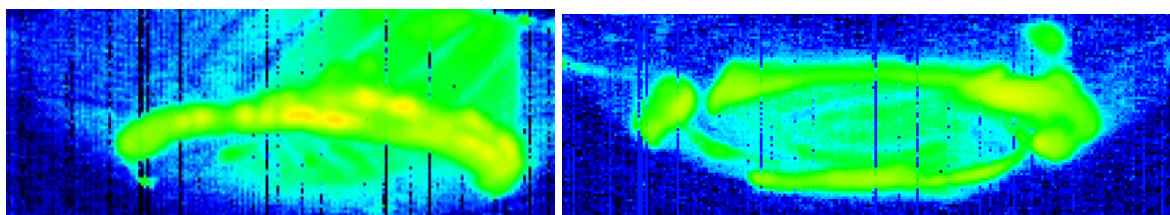


Abbildung 2: Thermografieaufnahme von TMF-Kontakten bei Stromnull  
Figure 2: Thermal image on TMF contacts at current zero

eine entsprechende Messvorrichtung für eine systematische Analyse des Emissionsgrads unter Berücksichtigung verschiedener Parameter entwickelt werden. Mit den dort gewonnenen Ergebnissen können anschließend genaue Temperaturmessungen erfolgen.

### **Experimental investigation of high current arc movement and surface temperature on TMF-contact systems in vacuum**

*Dipl.-Ing. Christian Wolf*

Vacuum circuit breakers are widely installed in the medium voltage area to break short circuit currents up to several tens of kiloamperes. For a magnetic influence on the arcing behavior the transverse-magnetic-field (TMF) contact, which leads to a rotation of the vacuum arc (see Figure 1), is the well-established contact design in medium voltage switchgear.

By means of optical analyses the specific behavior patterns of the electric arc on these type of contacts is investigated. A demountable vacuum vessel allowing the installation of different contact sizes is used for the observation in comparison with current and voltage traces.

Besides the observation the measurement of the contact temperature caused by the electric arc is a target of the research project. Different test setups were developed to achieve a non-contact analysis of the temperature. Figure 2 shows thermal images of a cup-shaped (left) and a spiral-shaped (right) contact at current zero. First measurements indicate that higher temperatures can be found on cup-shaped contacts. But for a detailed investigation the decisive emissivity of the contact material has to be determined in the next research steps. An applicable test setup is to be built for a determination considering important parameters.

### 3.5 Carbon-Scout

#### Emissionshandel und unternehmerischer Klimaschutz

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johannes Diedrich, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Munzel (MBA)*

Carbon-Scout wurde 2008 als Forschungsprojekt des elenia geboren. Ziel war es, die Transparenz im komplexen Markt für Beteiligungen an internationalen Klimaschutzprojekten zu erhöhen. Durch Beteiligungen an solchen Projekten können europäische Unternehmen Emissionszertifikate deutlich günstiger als zum Markthandelspreis erhalten. Die Emission von Treibhausgasen, wie CO<sub>2</sub> oder Methan, wird entsprechend der tatsächlichen Klimaschädlichkeit des jeweiligen Gases in CO<sub>2</sub>-Äquivalent gemessen. Jedes Zertifikat berechtigt den Inhaber zum Ausstoß einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent.



Abbildung 1: Bewertete Projekt-Cluster

Figure 1: Evaluated project cluster

Diese Zertifikate dienen dazu den Verpflichtungen des EU-Emissionshandelssystem gerecht zu werden. Dem Handelssystem sind große Unternehmen emissionsintensiver Industrien wie Energieversorgung, Stahlindustrie, etc. verpflichtend angeschlossen. Diese Unternehmen müssen im Umfang ihrer Treibhausgasemissionen Emissionszertifikate vorhalten. Ein Großteil der Zertifikate wird den Unternehmen von den Mitgliedsstaaten frei zugeteilt. Überschüssige Zertifikate können am Markt verkauft, fehlende Zertifikate zugekauft werden. Zusätzlich können Zertifikate aus internationalen Klimaschutzprojekten in Schwellen- und Entwicklungsländern in das Handelssystem eingebracht werden. Voraussetzung hierfür ist unter anderem, dass das Gastgeberland das Kyoto-Protokoll ratifiziert hat.



Beispiel für ein solches Projekt ist der Bau einer Windkraftanlage in Indien: Die Windkraftanlage erzeugt nahezu emissionslosen Strom, der im indischen Stromnetz emissionsbehafteten Strom verdrängt. Aus eingespeister Strommenge und den durchschnittlichen Emissionen pro Kilowattstunde Strom ergeben sich die eingesparten Emissionen.

Meldet der Projektentwickler den Windpark bei den vereinten Nationen an, erhält er für jede eingesparte Tonne CO<sub>2</sub>-äquivalenter Emissionen ein Zertifikat, das in das europäische Emissionshandelssystem eingebracht werden und so zur Finanzierung des Windparks dienen kann. Die Vielzahl an möglichen Kombinationen aus Projektstandort und Projekttyp sowie die komplexen Regularien durch die Vereinten Nationen verhindern jedoch bisher eine stärkere Beteiligung an solchen Projekten.

Hier schaffen die Forschungsergebnisse des Projekts Carbon-Scout Transparenz. Insgesamt über 150 Kombinationen aus Gastgeberland und Projekttyp wurden hinsichtlich ihrer Kosten- und Risikostruktur untersucht, um so die Entscheidungsfindung bei der Beteiligungsauswahl wissenschaftlich-methodisch vornehmen zu können.

Diese Kosten- und Risikoanalysen wurden 2011 von Dr. Peter Wiedenhoff als Dissertation unter dem Titel „The influence of risk on CDM cost effectiveness from the perspective of EU-ETS compliance investors“ veröffentlicht.

Inzwischen ist aus dem Forschungsprojekt das Gründungsprojekt Carbon-Scout geworden. Seit März 2011 wird es vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des EXIST-Gründerstipendiums gefördert. Prof. Kurrat fungiert als Mentor des Gründungsprojekts, welches somit verwaltungstechnisch dem elenia zugeordnet wird. Darüber hinaus stellt das elenia dem Projekt zwei Arbeitsplätze zur Verfügung. Neben der Förderung durch den Bund erfahren sowohl das Konzept als auch das Team Carbon-Scout vielfältige Unterstützung und Anerkennung auf regionaler Ebene. Dazu zählen unter anderem der Gewinn des Ideenwettbewerbs „Idee 2011“ der Projektregion Braunschweig und der Wolfsburg AG sowie der Gewinn des IHK-Gründungslams.

Ab 2012 wird die Firma Carbon-Scout ihr Wissen rund um die Themen Emissionshandel und unternehmerischer Klimaschutz Unternehmen zur Verfügung stellen.



Abbildung 2: Die Carbon-Scouts

Figure 2: The Carbon-Scouts

### **Emission trading and corporate climate protection**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johannes Diedrich, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Munzel (MBA)*

Carbon-Scout was started by the elenia as a research project in 2008. Research objective was to enhance transparency of the complex carbon market. Participations in emission reduction projects are traded on the market to enable European compliance companies to offset greenhouse gas emissions by financing emission reductions to the equal extent in developing countries. Surplus carbon credits can be sold on the market while missing credits can be bought to achieve compliance. As the outcome of the research project a cost and risk evaluation of emission reduction projects has been published in the dissertation of Dr. Peter Wiedenhoff in 2011.

Meanwhile, Carbon-Scout became a start-up project funded by the German Ministry of Economy and Technology. From 2012 on the company Carbon-Scout will offer its knowledge about emission trading and voluntary emission reductions.

### 3.6 Dissertationen - Dissertations

#### **Analysis and optimization of medium voltage distribution networks with integration of decentralized generation**

*Nasser Hemdan*

Tag der mündlichen Prüfung: 28.04.2011

1. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Walter Schumacher

In dieser Dissertation wird eine Analyse und Optimierung der Mittelspannungsverteilungsnetze (MS) in Verbindung mit DE Einheiten durchgeführt. Die präsentierte Arbeit kann hauptsächlich in vier Teile unterteilt werden. Im ersten Teil werden Untersuchungen zu den Einflüssen der Integration von DE Einheiten auf die Belastbarkeit von MS-Verteilungsnetzen durchgeführt. Die Belastbarkeitsuntersuchung wird in Bezug auf zwei Aspekte bewertet, den Spannungsgrenzen und der Spannungsstabilität. Diese Einflüsse werden anhand von zwei radialen Verteilungsnetzen bewertet, während die DE an jedem Knoten mit verschiedenen Durchdringungsraden und verschiedenen Leistungseinspeisungen integriert werden. Es wird die Continuation Power Flow Methode (CPF) verwendet, um die Netzbelastbarkeit in Bezug auf die genannten Aspekte zu bewerten. Für den zweiten Teil dieser Arbeit wird eine Methode der Optimierung dargestellt, die die Integration von dezentralen Erzeugern beschreibt, ohne die zulässigen Spannungsgrenzen zu verletzen. Es wird eine Methodik vorgeschlagen, die auf dem Konzept der CPF beruht. Im dritten Teil dieser Arbeit, werden Untersuchungen der Dezentralen Wind-Energie-Einspeisungen bezüglich der Spannungsreihen, Spannungsprofile, und Energie-Verluste eines realen MS-Verteilungsnetzes durchgeführt. Es wird die Möglichkeit der Integration einer Windkraftanlage (WKA) in ein bestehendes Netz mit bereits drei WKA basierend auf den Technischen Anschlussbedingungen des Bundesverbandes der Energie und Wasserwirtschaft (BDEW) analysiert. Der Simulation werden Standardlastprofile für Haushalte an den Niederspannungsabgängen der MS-Station hinterlegt. Der optimierte Betrieb der MS-Netze in Verbindung mit den DE wird für typische Netze dargestellt. Die typischen Netze werden basierend auf echten Daten erstellt. Die Zielfunktion dieser Arbeit besteht darin, die Verluste zu minimieren. Aus diesem Grund werden in einem weiteren Teil dieser Arbeit Last- und Erzeugungsprofile eingeführt. Die VDEW Standardlastprofile für Haushalte, und Gewerbe werden in der Netzberechnung verwendet. Der Konfigurationsprozess der Trennstellen (Trennstellenoptimierung) der Netze wird mit Hilfe der NEPLAN-Software durchgeführt. Aufbauend darauf wird, unter Zuhilfenahme einer C++ Routine, eine Netzberechnung Software für die verschiedenen Durchdringungsgrade von 0%, 50 % sowie 100 % vorgestellt. Weiterhin werden Erzeugungsprofile verschiedener Typen DE (z.B. Pho-

tovoltaik und Blockheizkraftwerke) basierend auf Messdaten in die Untersuchung mit einbezogen. Als Ergebnis der Untersuchung konnte eine verminderte Leistungsauslastung, eine Verbesserung der Spannungsqualität sowie eine Minimierung der Energie-Verluste erzielt werden.

### **Analysis and optimization of medium voltage distribution networks with integration of decentralized generation**

Within the framework of this thesis, an analysis and optimization of MV distribution networks with interconnection of DG units have been introduced. The presented work can be mainly divided into four parts. In the first part, investigations of the impacts of DG unit's interconnection on the loadability of MV distribution networks are introduced. The loadability is evaluated based on two aspects; namely the maximum loading according to the voltage limit and the maximum loading according to the voltage stability limit. These impacts are evaluated for two radial distribution networks where the DG is integrated at each node with different penetration levels and different reactive power injections. The Continuation Power Flow (CPF) method is used to assess the loadability with respect to the former two aspects. In the second part a new methodology for integration of the DG units in order to enhance the voltage limit loadability is presented. The proposed method yields efficiency in obtaining more benefits from the same amount of DG power, decreasing the losses and improving the voltage profiles. In the third part, investigations on the implications of Distributed Wind Power Generation (DWPG) on voltage ranges, voltage profiles, and energy losses of a real MV distribution network are introduced. The availability to integrate a new wind mill into the network that already contains three wind mills is examined with respect to the technical conditions for generation connection to the MV networks of the German Association of Energy and Water Industries (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - BDEW). In the simulation we used one year measured wind data and German Association for Electricity standard load profiles (Verband der Elektrizitätswirtschaft - VDEW) of the households, which are connected to the LV side at each MV substation. In the last part of the thesis, a new methodology for optimal reconfiguration of a typical MV network with the existence of different DG technologies is presented. The proposed methodology implementing C++ and NEPLAN software is developed for optimizing the switching state of the network where the load and generation profiles are taken into consideration. The objective function of the proposed algorithm is minimizing the energy losses. The VDEW standard load profiles for households and commercials are used in the simulation. The supplied power from the DG units is taken with constant penetration levels of 0%, 50%, and 100% in the first phase of the study. Then the generation profiles of different DG types are taken into consideration based on measurement data. The presented method yields good results in minimizing the energy losses, improving the voltage ranges, and relieving the bottlenecks in the lines.

## **Untersuchung der Löschgrenzen von Bordnetz-Schaltgeräten der Luftfahrt**

*Diethelm von der Fecht*

Tag der mündlichen Prüfung: 17.06.2011

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

In Flugzeugen des zivilen Luftverkehrs werden Bordnetze mit einer dreiphasigen Betriebsspannung von 115 V bei einer Netzfrequenz von 400 Hz betrieben. Die Erzeugung der elektrischen Energie erfolgt durch Generatoren, die von den Flugzeugtriebwerken angetrieben werden. Das „Constant Speed Drive“ System setzt durch ein hydromechanisches Getriebe die schwankende Drehfrequenz des Flugzeugtriebwerks in eine konstante Generatorfrequenz um, sodass eine feste Netzfrequenz der Bordnetzspannung erreicht wird.

Eine Vielzahl von Verbrauchern wie Beleuchtung, Klimaanlage und Bordküche verursachen einen erheblichen elektrischen Energiebedarf an Bord eines Flugzeugs. Darüber hinaus erfordern sowohl der zunehmende Einsatz von hydraulischen Stellantrieben (Aktuatoren) zur Steuerung des Luftfahrzeugs nach dem Konzept „Fly-By-Wire“ als auch die gestiegenen Anforderungen an das Bordentertainment die Bereitstellung zusätzlicher elektrischer Energie. Die Entwicklung immer größerer Flugzeugtypen bedeutet ebenfalls eine Zunahme des Energiebedarfs an Bord.

Zur Reduzierung von Volumen und Gewicht der Bordnetzkomponenten künftiger Flugzeuggenerationen ist deshalb in der Diskussion, die Bordnetzspannung auf 230 V zu erhöhen und unter Einsparung des Drehzahlwandlers zwischen Triebwerk und Generator eine variable Netzfrequenz zwischen 380 Hz und 800 Hz zu verwenden. Die Netzfrequenz variiert somit in Abhängigkeit von der jeweiligen Drehfrequenz der Triebwerke.

Während über die Löschgrenzen unter den bisherigen Bedingungen 400 Hz, 115 V bereits nur spärliche Kenntnisse im Vergleich zu den Netzfrequenzen 50/60 Hz bestehen, ist über die Löschgrenzen bei gleichzeitig verdoppelter Frequenz und Spannung so gut wie nichts bekannt. Es muss erwartet werden, dass diese Bedingungen das Löschverhalten deutlich verschlechtern, und heutige Bordnetzschtaltgeräte unter den neuen Bedingungen nicht mehr funktionieren. Es war deshalb das Ziel dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützten Vorhabens, die Lichtbogenlöschung unter diesen Bedingungen zu untersuchen.

Die im Rahmen dieses Vorhabens aufgebaute synthetische Schalterprüfanlage dient der systematischen Untersuchung von Schaltvorgängen einschließlich der Lichtbogenlöschung unter den vorgenannten Betriebsbedingungen der Bordnetzschtaltgeräte. Die Versuchsanlage enthält dazu einen Prüfkreis, der bei einer variablen Frequenz zwischen 380 Hz und 800 Hz und Strömen bis zu 5 kA betrieben werden kann.

Die Untersuchungen wurden an einem Versuchsschalter mit einer Doppelunterbrechung durchgeführt, da die bisher in der Luftfahrt eingesetzten Schaltgeräte mit einer Doppelunterbrechung arbeiten. Die Abschaltversuche wurden an unterschiedlichen Kontaktmaterialien untersucht, hauptsächlich mit den Kontaktpaarungen AgC/AgNi für eine unsymmetrische und AgMo/AgMo für eine symmetrische Paarung und jeweils für die Netzfrequenzen 380 Hz und 800 Hz.

Mit Simulationsrechnungen wurden die durch Messungen ermittelten Ergebnisse weiter untersucht und bestätigt.

### **Investigation of arc extinction in low-voltage switchgears of aircraft electrical network**

Aircraft electrical networks operate at a 3-phase voltage of 115 V and a frequency of 400 Hz. electrical energy is delivered from alternators, which are driven by the aircraft engines. The "Constant Speed Drive" (CSD) system transforms the fluctuating RPM of the aircraft engine in a constant RPM at the alternator. This is done by hydro-mechanical transmission. The result is a fixed frequency of the on-board network voltage.

For the reduction of volume and weight of future airplane generations it is discussed to raise the voltage up to 230 V and to use a variable frequency between 380 Hz and 800 Hz. With this change it is possible to save the CSD between engine and generator. The frequency varies therefore as a function of the respective RPM of the engines.

For the extinction of an electrical arc under these conditions - 400 Hz, 115 V - only meagre knowledge exists compared to the frequencies 50/60 Hz. Furthermore, nothing is known about the arc behaviour with doubled frequency and voltage. It is to be expected that under these conditions the low-voltage switchgears do not work properly any more. It was the aim of this investigation to examine arc extinction under these conditions.

To do systematic investigations of the switching processes including arc extinction under the above-mentioned operating conditions a synthetic test plant for low-voltage switchgears was developed and build. The test plant contains a test circuit, which can operate at frequencies from 380 Hz to 800 Hz and currents up to 5 kA (peak).

These analyses were carried out using a test switch with a double break, because the switchgears in the aviation used up to now work with a double break.

The tests were performed with different contact materials, mainly with the contact material AgC/AgNi for an asymmetrical and AgMo/AgMo for a symmetrical material and in each case for the frequencies 380 Hz and 800 Hz.

With simulation calculations the experimental results were further investigated and confirmed.

## **Entwicklung eines Simulationsverfahrens für Supraleiter unter Berücksichtigung von Temperatur, Stromdichte und Magnetfeld**

*Alexander Henning*

Tag der mündlichen Prüfung: 16.12.2011

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolf Rüdiger Canders

3. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. habil. Achim Enders

Die Technologie der Hochtemperatursupraleiter (HTSL) hat sich seit ihrer Entdeckung im Jahr 1986, aus dem Laborstadium heraus erheblich weiterentwickelt. Sie ermöglicht die Entwicklung von effizienteren und verlustärmeren Betriebsmitteln wie z.B. supraleitenden Energieübertragungskabeln, elektrischen Maschinen, sowie neuartigen Betriebsmitteln wie supraleitenden Strombegrenzern. Eine weitreichende Anwendung von supraleitenden Betriebsmitteln in der elektrischen Energietechnik erfolgt derzeit allerdings noch nicht, da zum Einen der Entwicklungsstand dieser Technologie für eine flächendeckende Anwendung noch nicht ausreicht und zum Anderen die Komponenten auf Basis eines Leistungsvergleichs (übertragbare elektrische Leistung pro Euro) noch relativ teuer sind.

Bei der Entwicklung von Betriebsmitteln, die auf einer neuen Technologie beruhen, sind zunächst grundlegende Untersuchungen der neuen Komponenten erforderlich. Dabei ergänzen sich experimentelle Grundlagenuntersuchungen mit Simulationsverfahren, um in möglichst kurzer Zeit eine Vielzahl von Kenngrößen zu ermitteln. Darüber hinaus lassen sich viele lokale Prozesse messtechnisch nur sehr aufwendig erfassen oder können nur durch Simulationen hinreichend erklärt werden. Die Simulationsverfahren verwenden im Allgemeinen vorhandene kommerzielle Programmpakete, müssen aber fast ausschließlich entsprechend der neuen Aufgabenstellung angepasst oder erweitert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Simulationsverfahren entwickelt, das es ermöglicht das Verhalten eines Supraleiters unter Berücksichtigung der kritischen Größen Temperatur, Magnetfeld und Stromdichte sowie das Eindringverhalten des magnetischen Feldes und der Stromdichte in den Supraleiter, nachzubilden. Das Verfahren wird an verschiedenen Geometrien und unter verschiedenen Randbedingungen erprobt und seine Funktionalität nachgewiesen. Weiterhin werden einige interessante Simulationsergebnisse zum Eindringverhalten der Stromdichte und des elektrischen Feldes in den Supraleiter gezeigt.

Zusätzlich wird eine Versuchsanlage zur Aufnahme von  $\sigma(J, B)$  Kennlinien von supraleitenden Bändern beschrieben und Vergleiche von Messungen und Simulationen durchgeführt. Der Schwerpunkt der durchgeführten Messungen liegt auf einem Vergleich von verschiedenen Messungen an unterschiedlichen Punkten auf der Oberfläche des Bandleiters und dem

Vergleich der Messergebnisse mit Ergebnissen von Simulationen an dem Bandleiter ähnlichen Geometrien.

### **Development of a Simulation Setup for Modeling the Thermal, Electric, and Magnetic Behavior of High Temperature Superconductors**

Since the discovery of High Temperature Superconductors (HTS) in 1986, this promising technology has made great steps in development. It is now possible to develop more energy efficient technologies like low-loss superconducting energy cables and electrical machines and even new systems like superconducting fault current limiters and superconducting magnetic energy storages. But until now a far-reaching application of these devices in power grids did not take place. This is because of two reasons: First, the stage of development of HTS is not sufficient for a comprehensive application in commercial systems and secondly the components are still quite expensive if compared with conventional systems on basis of transmitted power per Euro.

During the development of systems based on new technologies, basic analyses of the new components are needed. This can be done with measurements and simulations. Both methods complement one another to ascertain a large number of parameters. In addition, many local effects are very complex to measure or it is not possible to measure these effects at all. In these cases simulations can ascertain the missing parameters.

This work presents a new simulation setup for the calculation of high temperature superconductors. This setup incorporates the magnetic and electric field as well as the temperature dependencies on the electrical resistivity of high temperature superconductors. Additionally the penetration behavior of the current density and the magnetic field is incorporated in the simulation setup. Multi-conductor arrangements and 3D models can be calculated, too. The implementation in the commercially available FEM software Comsol is shown together with the underlying equations used in the simulation setup together with some exemplary simulations. In addition a test facility for measuring the  $\sigma(J, B)$  characteristic curves of superconducting conductors was developed. Different measurements were made and the results are compared with results from simulations. The main aspect of the measurements is the comparison between measurements on different spots at the surface of the conductor and simulations of similar geometries.





## 4 Besondere Ereignisse - Special Events

Außer den aufgeführten Ereignissen fanden eine Vielzahl von Projekttreffen mit unseren Partnern aus der Industrie, der Energieversorgung, den Hochschulen und den Behörden statt.

**11.01.2011**

Sitzung Lenkungskreis Zähl- und Messwesen  
des FNN

Teilnehmer: B. Deppe

**14.01.2011**

Doktorprüfung Mario Brockschmidt zum  
Thema „Möglichkeiten zur Verbesserung des  
Eigenschaftsprofils nanopartikulär gefüllter  
Polymere hinsichtlich ihrer elektrischen Teil-  
entladungsbeständigkeit und ihrer Wärmeleit-  
fähigkeit“, Institut für Technische Chemie,  
Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat

**18.01.2011**

Cigré B4.52 Working Group Meeting, Arlan-  
da/Schweden

Teilnehmer: E.-D. Wilkening

**31.01.2011**

VDE BV Braunschweig Vorstandssitzung

Teilnehmer: M. Kurrat

**01.02.2011**

EFZN Vorstandssitzung

Teilnehmer: M. Kurrat

**07.02.2011**

Fakultätsrat konstituierende Sitzung

Teilnehmer: M. Kurrat

**08.02.2011**

Pressetermin Ladesäule und elenia

Teilnehmer: M. Kurrat

**11.02.2011**

FEN AG1 und AG2 Vorbereitungstreffen

Teilnehmer: M. Kurrat

**18.02.2011**

Arbeitskreis HGÜ  
elenia/PTB

**22.02.2011**

Studienseminar - Wie grün ist die Zukunft der  
Energietechnik?, Nordbahnhof, Braunschweig



**25.02.2011**

20. FEN Vorstandssitzung und FEN Doktoran-  
denseminar, LUH

Teilnehmer: M. Kurrat

**28.02.2011**

EFZN Kuratoriumssitzung, Göttingen

Teilnehmer: M. Kurrat

**28.02.-02.03.2011**

15. Fachtagung Plasmatechnologie, Stuttgart

Teilnehmer: V. Ermel, M. Hilbert

**01.03.2011**

DKE-Web-Meeting

Teilnehmer: M. Kurrat

**01.-02.03.2011**

Kraftwerk Batterie, Aachen

Teilnehmer: P. Gronstedt, H. Haupt

**04.03.2011**

PTB-NFF Kolloquium  
Teilnehmer: M. Kurrat

**06.03.2011**

Karnevalsumzug in Braunschweig: Wagen der Fakultät 5 mit Unterstützung des elenia und des Instituts für EMV  
Teilnehmer: M. Budde, I. Gramberg, M. Blaz, M. Hilbert, J. Riß

**08.03.2011**

Professorentag der E.ON Avacon, BS  
Vortrag und Diskussion "Energiecafé", HdW  
Teilnehmer: M. Kurrat

**10.03.2011**

Symposium des Sektorkomitees Niederspannung der DAkkS, Offenbach  
Teilnehmer: E.-D. Wilkening

**10.-11.03.2011**

4. FEN Symposium/Abschlussveranstaltung des FEN  
Teilnehmer: M. Bunk, A. Dammasch, P. Gronstedt, M. Kurrat



**22.-23.03.2011**

Treffpunkt Netze, Berlin  
Teilnehmer: P. Gronstedt

**28.-29.03.2011**

NET, Goslar  
Teilnehmer: M. Bunk, A. Dammasch, B. Deppe

**06.04.2011**

EFZN Vorstandssitzung, HMI  
Teilnehmer: M. Kurrat

**08.04.2011**

Exkursion zur Vorlesung "Plasmatechnik" zu Phoenix Contact in Blomberg  
Teilnehmer: M. Kurrat, B. Schottel

**11.04.2011**

FNN Forumssitzung, Berlin  
Teilnehmer: M. Kurrat

**12.-13.04.2011**

TE in hochbeanspruchten elektrischen Isolierungen, TAE Esslingen  
Teilnehmer: M. Kurrat, M. Budde

**14.04.2011**

Zukunftstag für Mädchen und Jungen  
Teilnehmer: M. Hilbert, M. Mathis

**15.04.2011**

PTB/NFF/TU BS Strategiesitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**27.04.2011**

1. Mentorentreffen  
Teilnehmer: M. Kurrat

**28.04.2011**

Doktorprüfung Nasser Hemdan zum Thema „Analysis and optimization of medium voltage distribution networks with integration of decentralized generation“, elenia, Braunschweig



**29.04.2011**

VDE Erwin-Marx Sitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**09.05.2011**

Sitzung Lenkungskreis Zähl- und Messwesen  
des FNN  
Teilnehmer: B. Deppe

**10.05.2011**

Doktorprüfung Timo Wenzel zum Thema  
„Einsatz von Vakuum-Leistungsschaltern bei  
Flexible AC Transmission Systems (FACTS)“,  
KIT, Karlsruhe  
Teilnehmer: M. Kurrat

**11.-12.05.2011**

6. Braunschweiger Supraleiterseminar  
Teilnehmer: M. Kurrat, M. Blaz, M. Hilbert,  
I. Gramberg

**12.-13.05.2011**

FNN Förderkreissitzung, Berlin  
Teilnehmer: M. Kurrat

**12.-13.05.2011**

Göttinger Energietagung, Göttingen  
Teilnehmer: M. Bunk

**16.-17.05.2011**

Isolierstoffkolloquium (mit RWTH Aachen,  
TU Darmstadt und Uni Karlsruhe), Braun-  
schweig  
Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, M. Blaz,  
I. Gramberg

**17.-19.05.2011**

PCIM, Nürnberg  
Teilnehmer: B. Bünsow, O. Binder

**18.05.2011**

K 124, Dresden  
Teilnehmer: M. Kurrat

**18.-19.05.2011**

Highvolt-Kolloquium, Dresden  
Teilnehmer: V. Ermel, M. Kurrat

**27.05.2011**

FEN Doktorandenseminar  
Teilnehmer: M. Kurrat

**30.05.2011**

Fakultätsratssitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**31.05.2011**

Arbeitskreis HGÜ  
elenia/PTB

**06.-09.06.2011**

CIREN 2011, Frankfurt  
Teilnehmer: P. Gronstedt, A. Dammasch,  
M. Bunk, M. Kurrat

**09.-10.06.2011**

Cigré B4.52 Working Group Meeting, Aberde-  
en, England  
Teilnehmer: E.-D. Wilkening

**09.-10.06.2011**

3. Burghauser Isolierstoff Kolloquium, Burg-  
hausen  
Teilnehmer: M. Hilbert, C. Guca

**11.06.2011**

96 Schüler der 5. Klassen des Lessinggymna-  
siums Wenden besuchen das elenia  
Teilnehmer: M. Hilbert, M. Blaz, G. Bärwaldt,  
I. Gramberg, T. Kroker, C. Wolf

**14.-15.06.2011**

Pfingstexkursion nach Stuttgart

**16.06.2011**

3. NFF Hauptversammlung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**17.06.2011**

Doktorprüfung Diethelm von der Fecht zum Thema „Untersuchung der Löschgrenzen von Bordnetz-Schaltgeräten der Luftfahrt“, elenia, Braunschweig



**20.06.2011**

NFF/PTB/TU BS, Unterzeichnung Kooperationsvertrag  
Teilnehmer: M. Kurrat

**28.-29.06.2011**

Nationale Bildungskonferenz E-Mobilität, Ulm  
Teilnehmer: M. Kurrat, M. Bunk

**30.06.2011**

EFZN Vorstandssitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**02.07.2011**

TU Day - Forschung für unsere Gesundheit  
Teilnehmer: M. Bunk, B. Bünsow, T. Kroker, J. Reiß, M. Kurrat, B. Engel, B. Schottel, O. Binder, M. Hilbert, C. Wolf

**04.07.2011**

VDE BV Braunschweig Vorstandssitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**05.07.2011**

OFFIS, Oldenburg  
Teilnehmer: M. Kurrat

**05.07.2011**

Jährliche Sicherheitsunterweisung aller Institutsmitarbeiter

**14.07.2011**

Studienseminar - Trends der Energietechnik  
anschl. Semesterabschlussgrillen

**18.07.2011**

IoE Projekttreffen, München  
Teilnehmer: M. Kurrat

**18.-19.07.2011**

2. Wissenschaftliches Kolloquium der Hochschulen TU Ilmenau und TU Braunschweig  
Teilnehmer: M. Blaz, B. Bünsow, I. Gramberg, M. Hilbert, M. Kurrat, J. Reiß, B. Schottel, T. Schrank, C. Wolf, E.-D. Wilkening

**26.07.2011**

FNN TaskForce Netzbau, VDE Berlin  
Teilnehmer: M. Kurrat

**02.-04.08.2011**

Exkursion zur Vorlesung "Elektrische Energieanlagen" zur E-T-A und Dehn & Söhne  
Teilnehmer: E.-D. Wilkening, J. Reiß, Studenten der Vorlesung

**03.08.2011**

IEC MT 18  
Teilnehmer: M. Kurrat

**04.08.2011**

Arbeitskreis HGÜ  
elenia/PTB

**08.-09.08.2011**

E-Home-Treffen, Krottorf  
Teilnehmer: M. Kurrat

**11.-12.08.2011**

Strategiesitzung

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, B. Deppe,  
E.-D. Wilkening, G. Bärwaldt

**16.08.2011**

EXIST Zwischenevaluation, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat

**17.08.2011**

Doktorprüfung Immo Koch zum Thema „Un-  
tersuchungen zu Siliziumkarbid-Leistungshalb-  
leiterschaltern für Wechselrichter mit erhöhten  
Anforderungen“, IMAB, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Bünsow, M. Hilbert

**22.-26.08.2011**

ISH 2011, Hannover

Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, M. Blaz,  
I. Gramberg, O. Binder, J. Meisner

**24.08.2011**

Treffen VDE Braunschweig in Bewegung

Teilnehmer: M. Kurrat

**25.08.2011**

EFZN Vorstandssitzung, Goslar

Teilnehmer: M. Kurrat

**25.-26.08.2011**

IoE Architecture, München

Teilnehmer: M. Kurrat

**01.-02.09.2011**

EMRP Metrology for HVDC - Annual mee-  
ting, PTB Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, O. Binder, V. Ermel,  
E. Mohns, J. Meisner

**05.-09.09.2011**

26th European Photovoltaic Solar Energy Con-  
ference and Exhibition, Hamburg

Teilnehmer: H. Haupt, P. Gronstedt

**05.-09.09.2011**

19th Symposium on Physics of Switching Arc,  
Brno

Teilnehmer: J. Reiß, C. Wolf, T. Schrank,  
I. Gramberg



**07.-08.09.2011**

Cigré SC A3, Wien

Teilnehmer: M. Kurrat

**13.-15.09.2011**

Cigré B4.52 Working Group Meeting, Bolog-  
na/Italien

Teilnehmer: E.-D. Wilkening

**14.09.2011**

Ernennung Prof. Engel



**14.09.2011**

Doktorprüfung Abdelkader Guetif zum Thema  
„Untersuchungen zur Stützung des Versor-  
gungsnetzes mit Doppelschichtkondensato-  
ren“, IMAB, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Bünsow

**18.-23.09.2011**

EUCAS, Den Haag/Niederlande  
Teilnehmer: M. Blaz

**19.-29.09.2011**

Energieseminar Brasilien - International Program of Energy  
Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt, J. Diedrich

**20.09.2011**

Energiecafé, HdW Braunschweig  
Teilnehmer: M. Kurrat

**21.-22.09.2011**

2. Fachtagung Schaltanlagen für die Energieverteilung, Erfurt  
Teilnehmer: M. Kurrat

**23.09.2011**

Arbeitskreis HGÜ  
elenia/PTB

**26.-27.09.2011**

VDE Seminar 75 Jahre HGÜ, PTB Berlin  
Teilnehmer: J. Meisner, D. Kind, O. Binder, B. Bünsow, E.-D. Wilkening

**26.-28.09.2011**

9th Biennial Conference on Environmental Psychology, Eindhoven  
Teilnehmer: B. Deppe

**27.-28.09.2011**

Current Zero Club, Montpellier  
Teilnehmer: M. Kurrat

**28.-30.09.2011**

Albert-Keil-Kontaktseminar 2011, Karlsruhe  
Teilnehmer: J. Reiß, T. Schrank, B. Schottel, E.-D. Wilkening

**04.10.2011**

Projekttreffen VW Stiftung Microplasma  
Teilnehmer: M. Kurrat, V. Ermel, M. Hilbert

**05.10.2011**

LithoRec Konferenz, Braunschweig  
Teilnehmer: H. Haupt, G. Bärwaldt

**10.10.2011**

VDE BV Braunschweig Vorstandssitzung  
Teilnehmer: M. Kurrat

**12.-13.10.2011**

Institutsexkursion nach Bremerhaven

**24.10.2011**

VDE Erstsemestergrillen in der HS-Halle  
Teilnehmer: M. Hilbert



**28.10.2011**

Absolvententag 2011  
Teilnehmer: H. Waitschat

**03.11.2011**

264. PTB Seminar Leistungsmesstechnik, Braunschweig  
Teilnehmer: E. Mohns, J. Meisner

**07.11.2011**

BDEW Fachtagung – Netzintegration dezentraler Einspeiser  
Teilnehmer: M. Kurrat

**08.-09.11.2011**

ETG Kongress, Würzburg  
Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt, M. Bunk, A. Dammasch

**22.-23.11.2011**

ETG Workshop Feldsteuerende Isoliersysteme,  
Darmstadt

Teilnehmer: M. Blaz, M. Hilbert

**30.11.2011**

VDE BV Braunschweig Jahreshauptversammlung

Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, M. Blaz,  
H. Waitschat

**30.11.-01.12.2011**

NFF Workshop, Wöltingerode

Teilnehmer: M. Kurrat

**07.12.2011**

EFZN Workshop zu dezentralen Systemdienstleistungen, Goslar

Teilnehmer: S. Laudahn

**08.12.2011**

FNN Taskforce Integration dezentraler Erzeuger, Berlin

Teilnehmer: M. Kurrat

**14.12.2011**

EFZN Mitgliederversammlung

Teilnehmer: M. Kurrat

**16.12.2011**

Doktorprüfung Alexander Henning zum Thema „Entwicklung eines Simulationsverfahrens für Supraleiter unter Berücksichtigung von Temperatur, Stromdichte und Magnetfeld“, elenia, Braunschweig

**22.12.2011**

Betriebsversammlung und Weihnachtsfeier



#### 4.1 Berichte von besonderen Ereignissen - Reports on Special Events

##### „Ein erster wichtiger Baustein“ - TU Braunschweig erforscht mit Hilfe einer neuen Strom-Zapfsäule Elektromobilitätskonzepte

Quelle: neue Braunschweiger vom 09. Februar 2011

Von Daniel Beutler

Die Zukunft der Mobilität liegt in Elektroantrieben. Doch die brauchen Strom und wie der von der Steckdose in das Auto kommt, wird an der TU Braunschweig mit einer neuen Ladesäule für Elektroautos erforscht.

An der Schleinitzstraße 23 steht die zukunftssträchtige Stromtankstelle, direkt vor der Haustür des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia). Das Institut erforscht anhand der Ladesäule grundlegende Fragen, die mit dem Betrieb verbunden sind.

„Die Säule ist ein erster wichtiger Baustein in der Erforschung von Abrechnungskonzepten oder der Steuerung von Ladezeitpunkten“, erklärte Professor Michael Kurrat vom Institut.



Professor Michael Kurrat (Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen) und Paul Anfang (Vorstand BS-Energy) an der neuen Zapfsäule in der Schleinitzstraße

„Fast wichtiger als die Technik ist aber die Akzeptanz der Elektromobilität“, meinte Professor Kurrat, auch mit Blick auf den Standort der Ladesäule, die zwei beliebte Studentenparkplätze belegen wird. Zumindest wenn die ersten Elektroautos dort tanken werden, denn zurzeit arbeite man noch daran, welche zu bekommen. Die Zapfsäule, die von BS-Energy betrieben wird, ist aber nicht nur für Mitglieder der TU Braunschweig reserviert. Neben den Anlagen am Ritterbrunnen und in der Taubenstraße können Besitzer von Elektroautos auch die Zapfsäule in der Schleinitzstraße nutzen, um ihre Vehikel aufzuladen. „Das passiert natürlich mit Öko-Strom, hauptsächlich aus Wasserkraft“, sagte BS-Energy Vorstand Paul Anfang. Sonst würde das ganze schließlich keinen Sinn machen.

In diesen Forschungsbereichen sei die Region im Rückstand, stelle Professor Kurrat fest. Es gelte auf Forschungsstandorte wie Aachen oder München aufzuholen. Dafür wird ein neuer Master-Studiengang „Elektromobilität“ eingerichtet, um den offenen Fragen rund um die Infrastruktur der Elektroautos nachzugehen.

„Fast wichtiger als die Technik ist aber die Akzeptanz der Elektromobilität“, meinte Professor Kurrat, auch mit Blick auf den Standort der Ladesäule, die zwei beliebte Studentenparkplätze belegen wird. Zumindest wenn die ersten Elektroautos dort tanken werden, denn zurzeit arbeite man noch daran, welche zu bekommen.

## Karnevalsumzug in Braunschweig: Wagen der Fakultät 5 mit Unterstützung des elenia und des Instituts für EMV

*Dipl.-Ing. Ingo Gramberg*

Unter dem Motto „BWL war gestern – Elektrotechnik ist der neue Lifestyle-Studiengang“ bewarb die Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik und Physik (Fakultät 5) beim Braunschweiger Karnevalsumzug ihren Studiengang. In den für amerikanische Studenten typischen Abschlussroben feierten rund 30 Studierende, wissenschaftliche Mitarbeiter, Doktoren und Doktoranden im dazu passenden überdimensionalen Doktorhut. Auf dem Plakat des riesigen Trucks postulierte Carl-Friedrich Gauß: „We want you for TU!“ Diese Bilder zeigen, wie sehr Studenten und Mitarbeiter hinter ihrer Universität stehen. Die Aufbauten des Trucks wurden nach Feierabend in gemeinschaftlichen Bastelworkshops in der Hochspannungshalle des elenia gefertigt. Viele unterschiedliche Talente waren gefragt und so entstand nach und nach in selbstorganisierter Teamarbeit ein gelungener Paradowagen.

Neben der traditionellen Kamelle verteilten die Universitäts-Karnevalisten ihre sogenannte Bildung in Tüten. Hierbei handelte es sich um kleine Experimente zum selber bauen. Durch den Auftritt beim Braunschweiger Karneval sollte vor allem jungen Leuten Mut gemacht werden sich mit der vermeintlich schweren Materie der Elektrotechnik auseinander zu setzen. Denn nach wie vor ist der Bedarf an ausgebildeten Elektrotechnikern sehr groß.



Abbildung 1: Karnevalswagen der Fakultät 5 beim Braunschweiger Karneval

Figure 1: Truck of faculty 5 at the “Braunschweiger Karneval”

## Carnival procession in Braunschweig: Truck of faculty for electrical engineering with support of elenia and institute for EMV

At the carnival of Braunschweig the faculty for electrical engineering of the TU Braunschweig used the opportunity to advertise its branch of study. 30 students and assistants worked together to design and construct the assembly of the truck. Carl-Friedrich Gauß pointed out of a placard “We want you for TU”. The preparation and accomplishment of this event showed, how committed the students and assistants are standing behind their university. One

intention of the attendance was, to give young people an impression of today's students of electrical engineering.

### **Abschluss-Symposium des FEN in Hannover**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arne Dammasch*

Der interdisziplinäre Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) hat am 10. und 11. März 2011 in einem 4. und abschließenden Symposium die Ergebnisse aus fünf Jahren gemeinsamer Forschungsarbeit der Öffentlichkeit präsentiert. Die Veranstaltung hat in den Räumlichkeiten des Novotel Hannover stattgefunden und war mit ca. 100 Teilnehmern sehr gut besucht. Beim Symposium wurde als Konzept eine ausgewogene Mischung von Vorträgen aus den Reihen des FEN sowie von hochkarätigen externen Referenten gewählt. Dadurch konnten die Besucher aus erster Hand etwas über spannende Zukunftsthemen und Visionen erfahren.

Nach der Anreise die Gäste am 10. März und nach einer offiziellen Begrüßung durch Herrn Professor Mertens, gab Herr Professor Sonnenschein eine Einführung in die Thematik der Energieversorgungsszenarien, wie sie im FEN betrachtet wurden. Es folgte ein Themenblock zur Validierung und Erprobung des BHKW-Feldversuchs sowie zum Netzbetrieb mit elektrischen Energiespeichern. Bei einer anschließenden Kaffeepause konnten die Forschungsansätze des FEN ausgiebig diskutiert werden und zudem im Rahmen der begleitenden Postersession näher mit den FEN Mitarbeitern erörtert werden. Im Anschluss folgten die Vorträge der externen Referenten. Hier hat in dem ersten Vortrag Herr Dr. Heinen sehr anschaulich aus der Sicht eines Energieversorgers dargestellt, welche Anforderungen zukünftig an das „Smart Grid“ gestellt werden und wie mögliche Modellansätze dazu aussehen können. Im Anschluss berichtete Herr Darrelmann aus Sicht einer Ingenieurberatung, wie elektrische Energiespeicher stabilisierend in das Stromnetz integriert werden können und verdeutlichte dies anhand interessanter Beispiele aus der Praxis.

Nach den Vorträgen des ersten Tages lud die E.ON Avacon AG als Sponsor des Symposiums zu einer Abendveranstaltung im Restaurant NOVOTEL ein. Eröffnet wurde diese durch einen Vortrag von Herrn Herzog, Vorstand für Netze der E.ON Avacon AG. In gemütlicher Runde und bei wertvollen Fachgesprächen konnte der erste Veranstaltungstag in Ruhe ausklingen.

Am zweiten Veranstaltungstag bot Herr Prof. Hofmann, nach der offiziellen Begrüßung durch Herrn Prof. Beck, in seinem Vortrag eine Einführung in die Netztechnik und gab somit gleichzeitig die Einleitung für die nächsten Vorträge aus den Reihen des FEN zu den Themenfeldern theoretische Stabilitätsuntersuchungen, Umrichtersystemen sowie Netzanbindung von Speichern. Wiederum abgerundet durch eine Postersession folgten zum Abschluss zwei weitere externe Vorträge. Herr Wachenfeld von der SMA Solar Technologie berichtete aus der Sicht eines Wechselrichterherstellers, was diese zukünftig zu einem stabilen Netzbetrieb

beitragen können und auch müssen. Herr Görner von der ABB AG erklärte inwiefern die Übertragungskapazitäten mittels HGÜ und FACTS gesteigert werden können. Mit einem Rückblick auf die zurückliegenden 5 Jahre Forschungsverbund Energie Niedersachsen und wo die Entwicklung des Stromnetzes in Zukunft hingehen wird, schloss Herr Professor Kurrat das letzte FEN Symposium. Mit einem ausgiebigen Lunchbuffet und interessanten Gesprächen endete die Veranstaltung am 11. März.



Abbildung 1: Beteiligte Mitarbeiter des FEN

Figure 1: Members of the FEN

Professor Kurrat als Sprecher des gesamten niedersachsenweiten FEN-Projekts und die in unserem Haus befindliche Geschäftsstelle, vertreten durch Frau Nardmann und Frau Thelen, bedanken sich bei allen Mitarbeitern des FEN, den Gutachtern, dem Beirat und nicht zuletzt den Sponsoren dieses Symposiums und vergangenen Veranstaltungen für die gute Zusammenarbeit der letzten Jahre.

#### **Fourth symposium of the FEN in the city of Hannover**

From 10<sup>th</sup> to 11<sup>th</sup> of March 2011, the 4<sup>th</sup> and final public symposium of our research alliance for energy in lower Saxony (FEN) took place in Hannover. The symposium was structured with presentations given by internal scientists as well as external professionals. More than 100 participants listened to the interesting topics concerning integration of decentralized power generation and grid stability. At the end of the first day the E.ON Avacon AG, sponsored an evening event in the restaurant of the NOVOTEL Hannover where one of the board members of E.ON Avacon, Mr. Herzog gave another very interesting presentation.

## **Zukunftstag 2011**

*Quelle: Informationsblatt Nr. 4 (Juli/August 2011) des VDE-Bezirksverein Braunschweig e.V. Von Marie Mathis (Sprecherin der VDE-Hochschulgruppe)*

Im Haus der Wissenschaft konnten in diesem Jahr neun Schülerinnen der 8. bis 10. Klasse begrüßt werden, die sich im Rahmen des Zukunftstages über interessante Studiengänge informieren wollten.

Hierzu präsentierte sich das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) der TU Braunschweig gemeinsam mit der VDE Hochschulgruppe. Michael Hilbert, der die Hauptorganisation als Mitarbeiter des Instituts übernommen hatte, wählte für diesen Tag ein aktuelles Thema: „Wie erzeugt man einen grünen Strommix, der auch bezahlbar ist?“.

Da die regenerativen Energieerzeuger dabei eine tragende Rolle spielen, wurde als Auftakt der Veranstaltung eine Besichtigung der Solaranlage angeboten, die auf dem Institutsgebäude installiert ist. Nach diesem gelungenen Einstieg wurde der Gruppe mit einer Präsentation das Institut vorgestellt. Anschließend erklärten zwei Studierende der VDE Hochschulgruppe den Schülerinnen den Aufbau eines elektrotechnischen Studiums und stellten die Zukunftschancen insbesondere für Frauen in diesem Bereich heraus.

Bevor die Schülerinnen in drei Gruppen eine Aufgabe praktisch umsetzen durften, gab ein kurzer Film einen Ausblick in die Zukunft der Energieversorgung im Jahr 2020. Ergänzend dazu erklärte Michael Hilbert wie sich der Strompreis zusammensetzt und wie konventionelle und regenerative Kraftwerke funktionieren.

Nun konnten die Schülerinnen auch selber ausprobieren, wie man einen Strommix für ein Tageslastprofil zusammenstellt. Dazu hatten sie Tageslast- und Einspeisungsprofile verschiedener Erzeuger in Papierform zur Verfügung.

Zunächst mussten sich die drei Gruppen aber überlegen, welche Strategie sie verfolgen. Ist ein niedriger Strompreis wichtig oder eine Energieerzeugung ohne die Kernkraft?

Ohne, dass dies beeinflusst wurde, entschieden sich zwei Gruppen für einen Strommix, bei dem kein Strom aus Kernkraftwerken verwendet wurde. Eine Gruppe achtete darauf, dass der Strompreis möglichst gering blieb. Die Aufgaben wurden mit großer Begeisterung bearbeitet sodass zum Abschluss der Aufgabe über die erzielten Ergebnisse und deren Praxisnähe angeregt diskutiert wurde.

Zum Schluss wurden in der Hochspannungshalle noch einige Versuche gezeigt, bei denen man die Begeisterung der Schülerinnen und deren Eltern noch einmal spüren konnte.

Während der darauffolgenden Mittagspause in der Mensa stellten die Teilnehmerinnen noch viele Fragen und bemerkten auch, dass sie aufgrund der Erklärung von Michael Hilbert mehr über Energietechnik gelernt haben, als es ihnen in der Schule möglich war. So wurde das Ziel erreicht den Schülerinnen einen spannenden Einblick in diese Thematik zu ermöglichen. Dabei hatten alle Teilnehmer viel Spaß an der Veranstaltung.

## **6. Braunschweiger Supraleiterseminar**

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

Das 6. Braunschweiger Supraleiterseminar fand dieses Jahr am 11. und 12. Mai statt. Der Austragungsort war, wie in den vergangenen Jahren, das Konferenzzentrum „Nordbahnhof“ in Braunschweig. Auch in diesem Jahr konnten wir die Erfolgsgeschichte des Braunschweiger Supraleiterseminars fortsetzen. Die Organisation des Seminars lag wie bisher in den Händen des Institutes für Oberflächentechnik, der PerCoTech AG und dem elenia. Großzügige Unterstützung erhielten wir von der e.on | Avacon AG, der Bruker ETS GmbH und vom Industrieverband Supraleitung (ivSupra).

Das Ziel des 6. Braunschweiger Supraleiterseminars war es durch Vorträge und Diskussionen die verschiedenen Interessen der Hersteller und Entwickler von supraleitenden Geräten mit den Fragen und Wünschen potentieller Anwender dieser Geräte zusammenzubringen. Es nahmen über 60 Teilnehmer aus Industrie und Forschung sowie von Energieversorgungsunternehmen teil. Auch die Anzahl an internationalen Teilnehmern stieg weiter, so konnten wir dieses Jahr mehrere Gäste aus den Niederlanden begrüßen.

Die Vorträge die während der zwei Tage auf der Veranstaltung gehalten wurden, waren thematisch weit gefächert. Sie fingen an mit Darstellungen der neuesten Techniken zur Supraleiterherstellung. Danach wurden die Anwendungen der Supraleitung in elektrischen Maschinen, Strombegrenzern und Kabeln genauer betrachtet. Am Ende kam ein potentieller Kunde zu Wort, der über die von ihm gesetzten Anforderungen an supraleitenden Geräten berichtet hat. Dabei wurden auf die generellen Voraussetzungen eingegangen, die supraleitende Anwendungen erfüllen sollten um in einem Energieversorgungsnetz eingesetzt werden zu können. Die Hersteller und Entwickler dieser Geräte zeigten welche vielfältigen und interessanten Möglichkeiten die Supraleitung für die Energieversorgung bietet. Einen kleinen Eindruck vom Umfang der Veranstaltung gibt das Gruppenfoto in Abbildung 1 wieder. Wir hoffen, dass das 7. Braunschweiger Supraleiterseminar ebenso erfolgreich wie das 6. Verlaufen wird. Das 7. Seminar wird erst 2013 stattfinden, da beschlossen wurde, es im Wechsel mit dem ZIEHL Seminar zu veranstalten.

## **The 6<sup>th</sup> Braunschweiger Superconductivity Seminar**

The 6<sup>th</sup> Braunschweiger Superconductivity Seminar was held on May 11 and 12 in 2011, at the conference center “Nordbahnhof” in the historical city of Braunschweig, Germany. As in the last years, this “seminar” was really a national workshop organized by the Institute of High Voltage Technology and Power Systems, the Institute for Surface Technology, both of the Technische Universität Braunschweig, and the “PerCoTech AG” company. The support of the event came from e.on | Avacon AG, Bruker ETS GmbH and from German Industrial Association “Superconductivity” (ivSupra).



Abbildung. 1: Teilnehmer des 6. Braunschweiger Supraleiterseminars  
Figure 1: Participants of the 6<sup>th</sup> Braunschweiger Superconductivity Seminar

The purpose of this workshop was to enhance communication between electric utilities or authorities, who are potential users of superconducting apparatus, on one side, and the industrial manufacturers and research organizations, who are developing such apparatus, on the other. The workshop was attended by over 60 participants not only from Germany, but also from the Netherlands. Many of the attendees were electrical engineers from electric utilities. The presentations covered the whole range of the superconductivity working area from the production of superconductors over the applications in fault current limiters, rotating machines and cables until the view from the utility company on the superconducting devices. The way of thinking and the language of engineers in utility companies on one side, and of those active in applied superconductivity on the other, are highly different. Therefore, the workshop organizers would like to encourage all interested parties to attend the 7<sup>th</sup> workshop in 2013 with the aim to help introducing the high-temperature superconductivity apparatus in electrical power applications.

### **Isolierstoffkolloquium 2011**

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

Das Isolierstoffkolloquium ist eine gemeinsame Veranstaltung von Hochspannungstechnik Instituten der TU Braunschweig, der RWTH Aachen, der TU Darmstadt und der Uni Karlsruhe. Es dient dem Austausch und der Diskussion von Forschungsthemen unter den wissenschaftlichen Mitarbeitern und Professoren.

Das Isolierstoffkolloquium findet im Wechsel an den verschiedenen Standorten der Teilnehmer statt. Dieses Jahr wurde es im elenia in Braunschweig veranstaltet. Die AG Isoliersysteme

me (ehemals AG Materialien und Plasmen) stellte eine Auswahl ihrer Forschungsthemen in Fachvorträgen dar. Nach den Vorträgen gab es ausreichend Zeit für zahlreiche Diskussionen, welche sonst auf den Fachtagungen aufgrund des engen Zeitplans nicht oder nur sehr knapp möglich sind. Eine Führung durch das Institut und die Labore zeigte die Arbeitsumgebung in der die Forschungsprojekte durchgeführt werden.

Neben den fachlichen Gesichtspunkten durften natürlich die sozialen Aspekte auch nicht zu kurz kommen. Eine Stadtführung durch Braunschweig zeigte den Besuchern die historische und gegenwärtige Relevanz Braunschweigs sowohl für die Region als auch für Deutschland. Das anschließende Essen im Rodizio Brasil stimmte auf den Abend ein, welcher dann bei dem Kennenlernen eines Teils des Braunschweiger Nachtlebens seinen Ausklang fand.

Das diesjährige Isolierstoffkolloquium schließt sich den erfolgreichen Treffen der vergangenen Jahre an.

### **Isolierstoffkolloquium 2011**

An opportunity for scientific discussion between scientists and professionals within a warm and nice atmosphere gives the “Isolierstoffkolloquium”. This is an event between the High-Voltage Institute of the TU Braunschweig and partner institutes of the RWTH Aachen, the TU Darmstadt and the University of Karlsruhe. This year’s colloquium was held at the elenia in Braunschweig.

Presentation of several different projects as well as discussions afterwards led to new research aspects and further interdisciplinary project ideas. Additionally, the participants took a guided tour through the historical parts of Braunschweig that ended up with a typical Brazilian dinner and some drinks.

### **96 Nachwuchsforscher des Lessinggymnasiums besuchen das elenia**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gunnar Bärwaldt, Dipl.-Ing. Ingo Gramberg*

Am 11.06.2011 besuchten drei fünfte Klassen des Lessinggymnasiums in Braunschweig-Wenden das elenia. Im Rahmen der Auswahl eines Schwerpunktprofils für kommende Schuljahre lernen die Schüler und Schülerinnen in den ersten Schuljahren jeweils eines der Profile kennen. Im fünften Jahrgang steht der naturwissenschaftliche Zweig und als spätere Anwendung dessen auch die Forschung in den Ingenieurwissenschaften auf dem Lehrplan. Nach einer allgemeinen Begrüßung haben die Schüler und Schülerinnen in Kleingruppen anhand von vier Experimenten Themenfelder unserer Forschung kennengelernt und im Rahmen einer Gruppendiskussion Fragen der Energieversorgung erörtert. Highlight war wieder einmal der Struwelpeter-Versuch, bei dem nicht nur den Schülern und Schülerinnen die Haare zu Berge standen.



Das elenia unterstützt auf diese Weise den wissenschaftlichen Nachwuchs bereits lange vor dem Studium. Denn gerade durch den Kontakt mit interessanten Fragestellungen entdecken Schüler und Schülerinnen ihre individuellen Fähigkeiten und Interessen – so auch für den Ingenieurberuf.



Abbildung. 1: Besuchergruppe des Lessinggymnasiums

Figure 1: Visitors of the Lessinggymnasium

### **96 junior researchers of the Lessinggymnasium visited the elenia**

On 11<sup>th</sup> of June 2011 the elenia institute was visited by three fifth degree classes of the “Lessinggymnasium Braunschweig”. The students wanted to learn more about natural science and research work at the university. After a short introduction, the students were divided into small groups. Four experiments were shown to each group followed by a discussion about electrical power supply. Highlight of the experiments was once again the Van-de-Graff- generator which produced the student’s hair to stick out.

The intention of this project is to support scientific offspring very early during schooldays. By confronting young pupils with interesting questions, the development of different interests and skills can be supported, also for the engineering profession.

### **Exkursionswoche 14.-16.06.2011: Reise nach Stuttgart**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

Auch in diesem Jahr organisierte das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia- mit dem Institut für EMV eine dreitägige Exkursion vom 14.06 bis zum 16.06.2011 nach Stuttgart. Mit einem vollbesetzten Bus (8 Mitarbeiter und 35 Studierende) wurde die Reise um sechs Uhr morgens über Offenbach am Main mit einem Besuch beim VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut mit dem Ziel Stuttgart begonnen. Beim VDE durften wir uns über die tolle Prüfarbeit und der damit wirksamen Gewährleistung der Produkte vergewissern. Aber nicht nur die Überprüfung der technischen Sicherheit der Produkte wird geprüft, sondern auch die Benutzerfreundlichkeit, die ebenfalls mit einem Prüfsiegel bestätigt wird. Nach drei interessanten Stunden ging die Reise nach Stuttgart weiter. Nach dem die Zimmer im Hotel in der Innenstadt bezogen wurden, war noch Zeit für ein Besuch eines Restaurants bis die Stadtführung durch die Landeshaupt Baden-Württembergs begann. Innerhalb von zwei Stunden zeigte uns die Stadtführerin neben historischen Gebäuden auch moderne

Einrichtungen, alles untermalt mit interessanten und aktuellen Geschichten aus dem Stadtleben. Anschließend konnten die kulinarischen Genüsse des Schwabenlandes in den ansässigen Restaurants probiert werden.

Der zweite Tag begann mit einer Besichtigung der Leitwarte und des Umspannwerkes von EnBW in der Nähe von Stuttgart. Beeindruckend war neben den vielen fachlichen Vorführungen auch die Ausstattung der Leitwarte mit einem 20 Millionen teuren Großbildschirm (ca. 10x5m) für die Überwachung des Netzes. Nach dem uns die Steuerung des Netzes anschaulich erklärt wurde, konnten wir die Schalteinheiten im Umspannwerk bestaunen. Neben einem 110 kV Freiluftfeld bekamen wir noch die Gasisolierte Schaltanlage mit einer Spannung von 380 kV zusehen.



Abbildung 1: Gasisolierte Schaltanlage 380 kV im Umspannwerk von EnBW

Figure 1: Gas insulated switchgear 380 kV at transformer station of EnBW

Nach der Stärkung in der Betriebskantine von EnBW folgten wir der Einladung der Firma Trumpf. In einer zwei stündigen Führung wurden wir über die Vielfalt der Produkte von Trumpf wie einer vollautomatischen Stanzmaschine oder einem Schneidlaser, der neben Blechen auch Baustahl schneiden kann, informiert. Die Besichtigung führte uns weiter in die Produktionshallen. Hier wurde uns die Produktionsvielfalt der Produkte bewusst. Neben der Fertigung im Reinraum der Laserteile, konnten wir auch die Zusammensetzung des Gesamtproduktes besichtigen.

Am Donnerstag, dem Tag der Rückreise, machten wir einen kleinen Schlenker über Backnang um die Exkursion mit einer Besichtigung bei Tesat-Spacecom abzuschließen. Tesat-Spacecom ist weltweit führend auf dem Gebiet der Ausstattung von Kommunikationssatelliten. Dabei verwenden sie neuerdings als einziger weltweit eine Datenübertragung zur Erde unter Mithilfe von mehreren Satelliten. Dadurch kann eine Übertragung der Daten von einem Zeitfenster von ca. 10 min pro Tag zur Erde auf den halben Tag erweitert werden. Zuvor war das kurze Zeitfenster des Überfluges des Satelliten über die Empfangsstation der begrenzende Faktor. Mittels Lasertechnik werden nun die Informationen vom Ursprungssatelliten an weitere Satelliten gesendet, die Kontakt zum Empfänger auf der Erde haben. Neben vielen fachlichen Vorträgen an diesem Tag von der Kommunikationstechnik der Satelliten bis hin zu EMV-Problemen durften wir auch einen Blick in die Produktion der Netzteile zum Betrieb der Satelliten werfen. Dabei wurde einem schnell die Qualität der Teile, auf die man viel Wert

legt im Unternehmen, bewusst. Aber durch die starken Belastungen im Weltraum in einem Temperaturbereich von minus 45 °C bis plus 75 °C sowie den Vibrationsbelastungen beim Start der Trägerrakete ist dies durchaus notwendig. Am späten Nachmittag traten wir dann erschöpft von den interessanten aber auch anstrengenden Tagen die Heimreise nach Braunschweig an.



Abbildung 1: Gruppenfoto vor dem Hauptgebäude des Umspannwerkes von EnBW  
Figure 1: Group photo in front of main building of the transformer station of EnBW

### **Student Excursion June 14-16, 2011: Trip to Stuttgart**

The Destination of our student excursion this year was the region Stuttgart. On the Way we stopped in Offenbach where VDE has a test- and certification institute. We learned that they do not only check the function of, for example, washing machines but also the user-friendliness. In the early evening we arrived in Stuttgart and moved into our hotel rooms. In the evening some of us took part in a wine tasting and the rest received a guided tour through the city. The next morning we went to EnBW in Wendlingen. In an interesting lecture we learned about the network structure of EnBW and about the 2006 blackout. In the afternoon we visited Trumpf, a big company for laser and cutting technologies. A tour through the factory showed us the complex steps involved in the production of lasers. The last evening in Stuttgart everyone enjoyed the culture and gastronomic specialties. We spent the last day in Backlingen at Tesat-Spacecom. Many lectures of engineers showed us the structure and the technologies from Tesat-Spacecom. We learned that more than half of all communication satellites in orbit have Tesat equipment on board. Late that afternoon all participants got on the way home by bus.

## TU-DAY 2011 – Forschung für unsere Gesundheit

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Der achte Tag der offenen Tür der Technischen Universität Braunschweig stand unter dem Motto „Forschung für unsere Gesundheit“, weshalb sich der Informationsstand des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) der Sicherheit in der Energieversorgung widmete (Abbildung 1). Gezeigt wurden Schalter und Sicherungen, die im elenia erforscht werden. Anwendungsgebiete erstrecken sich beispielsweise von der Haustechnik über die Photovoltaikanlage auf dem Dach bis hin zum Elektroauto. Denn bei aller Innovation steht die Sicherheit des Menschen an erster Stelle! Darüber hinaus brachten Mitarbeiter des Instituts den TU-DAY-Besuchern weitere elenia-Forschungsthemen nahe, die in Form von Postern präsentiert worden sind. Auch Studieninteressierten gab



Abbildung 1: elenia-Informationsstand samt Miniatur-Marx-Generator

Figure 1: elenia-information booth with miniature-Marx-generator

man den einen oder anderen Tipp mit auf den Weg! Durch den Miniatur-Marx-Generator wurden die Besucher lautstark auf unseren Stand aufmerksam gemacht. Die „kleinen Blitze“ sorgten für beeindruckte Gesichter und warben gleichzeitig für die Experimente in unserer Hochspannungshalle, die wie in jedem Jahr großen Zuspruch bei den Besuchern fanden. Kindern, Jugendlichen und interessierten Erwachsenen führte man Überschlüge an Isolatoren, der Lichtenberg-Versuch und den Betrieb des Tesla-Transformators vor und gewährte Einblick in die technischen Hintergründe. Ein weiteres Highlight für Groß und Klein war unser Bandgenerator. Hier hatte jeder die Gelegenheit seinen Mut unter Beweis zu stellen und sich auf 150.000 Volt aufzuladen. Natürlich bestand hierbei keine Gefahr für die Teilnehmer! Zur Erinnerung wurde die „hochspannende Situation“, die die Haare zu Berge stehen ließ (Abbildung 2), durch eine Fotourkunde festgehalten, die den Teilnehmern direkt überreicht wurde.



Abbildung 2: Struwelpeter

Figure 2: Struwelpeter

Ein weiteres Highlight für Groß und Klein war unser Bandgenerator. Hier hatte jeder die Gelegenheit seinen Mut unter Beweis zu stellen und sich auf 150.000 Volt aufzuladen. Natürlich bestand hierbei keine Gefahr für die Teilnehmer! Zur Erinnerung wurde die „hochspannende Situation“, die die Haare zu Berge stehen ließ (Abbildung 2), durch eine Fotourkunde festgehalten, die den Teilnehmern direkt überreicht wurde.

## **TU-DAY 2011 – Research for our health**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Since eight years Technische Universität Braunschweig is presenting institutes and clubs at a summer event called TU-DAY. This time the motto was “Research for our health”. Every year the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) takes this opportunity to present research projects. At the elenia-information booth everybody could get information about safety in energy systems and the projects (figure 1). Scientific assistants informed the visitors about new results and responded to questions. Like every year the guided tour in the high-voltage lab was very popular by our visitors. They got the chance to see high-voltage flash overs and experiments with the “Tesla-Transformer” and the “Lichtenberg-Test”. In front of the institute visitors could load their bodies onto 150.000 Volts at the “Van de Graaff-Generator” and received a certificate with picture as reward (figure 2).

## **2. Wissenschaftliches Kolloquium der Hochschulen TU Ilmenau und TU Braunschweig**

*Dipl.-Ing. Christian Wolf*

In diesem Jahr fand die Fortführung des Kolloquiums zusammen mit dem Institut für Elektrische Energie- und Steuerungstechnik (FG Elektrische Geräte und Anlagen) der TU Ilmenau statt. Nach dem erfolgreichen ersten Treffen der beiden Institute im Jahr 2009 in Ilmenau begab sich Prof. Berger mit seinen Mitarbeitern dieses Jahr nach Braunschweig.

Das Get-together mit anschließendem Rundgang durch die Labore am elenia fand nach der Ankunft der Ilmenauer am späten Nachmittag statt. Anschließend fand man sich an der Hochspannungshalle des elenia zu einem gemeinsamen Barbecue ein. Hierbei konnten erste Erfahrungen in der wissenschaftlichen Arbeit unter den Teilnehmern ausgetauscht werden.

Der folgende Tag war für die Vorstellung und Diskussion der individuellen Forschungsthemen vorgesehen. In acht Vorträgen zeigten beide Institute ihre wissenschaftlichen Ausrich-



Abbildung. 1: Teilnehmer des 2. Wissenschaftlichen Kolloquiums mit der TU Ilmenau

Figure 1: Participants of the 2<sup>nd</sup> Scientific Meeting with the TU Ilmenau

tungen, die sowohl Simulationen als auch experimentelle Arbeiten umfassen. Nach jedem Vortrag folgte eine Diskussionsrunde, um Fragen, Lob und Anregungen zu äußern. Abends machten sich unsere Gäste wieder in Richtung Heimat auf und hinterließen bei uns viele neue Erkenntnisse und positive Eindrücke. Eine Weiterführung des Kolloquiums ist geplant.

## **2<sup>nd</sup> Scientific Meeting of the Universities TU Ilmenau and TU Braunschweig**

This year the second meeting with the Institute for Electrical Energy and Control Technology (Department of Electrical Apparatus and Switchgear) of the TU Ilmenau was held. After the get-together the laboratories at the elenia were presented to the participants from Ilmenau. This first scientific impression was followed by a barbecue at the testing hall of our institute, where work experiences of the PhD students could be exchanged in a relaxed atmosphere. For the next day several presentations of the appropriate scientific topics were planned. The experimental and simulation work focuses were shown and discussed by the participants. At the end of the day our guests started their journey back home. Prof. Kurrat and Prof. Berger planned to proceed with the meeting on a regular basis in the future.

## **Exkursion zur Vorlesung „Elektrische Energieanlagen“ zu den Firmen E-T-A und DEHN + SÖHNE**

*Dipl.-Ing. Julia Riß*

Die Exkursion zu der Vorlesung „Elektrische Energieanlagen“ führte uns in diesem Jahr vom 2. bis 4. August in den süddeutschen Raum zu den Firmen E-T-A und DEHN + SÖHNE, um die theoretisch erarbeiteten Vorlesungsinhalte mit Leben zu füllen.

Früh am Dienstagmorgen um viertel vor sechs wartete der Reisebus vor dem Naturhistorischen Museum in Braunschweig auf uns. Von hier ging es zunächst zu E-T-A in Altdorf bei Nürnberg. Nach einer kurzen Einführung gewährte man uns Einblicke in die Produktionsstätten von E-T-A. Wir konnten zunächst die Montage eines Schutzschalters für Flugzeugbordnetze verfolgen und dabei die aufwendige Handarbeit und Geschicklichkeit der Monteurinnen bestaunen. Aber auch vollautomatische Fertigungsstraßen zur Herstellung von Sicherungsautomaten, die mechanische Vorfertigung und der Werkzeugbau wurden besichtigt. Bei einem gemeinsamen Abendessen konnte sich in ungezwungener Atmosphäre mit einigen E-T-A Ingenieuren unterhalten und diskutiert werden.

Am Mittwoch stand die Besichtigung der Firma DEHN + SÖHNE, die sich mit Überspannungs-, Blitzschutz- und Arbeitsschutz beschäftigt, auf dem Programm. In einführenden Vorträgen wurde uns zunächst die Firma vorgestellt und dann Grundlagen des Blitz- und Überspannungsschutzes erläutert. In einer ausführlichen Werksbesichtigung



Abbildung. 1: Exkursionsteilnehmer vor a) dem E-T-A Hauptgebäude und b) vor der Burgruine Wolfstein

Figure 1: Participants of the excursion in front of a) the main building of E-T-A and b) the castle ruin of Wolfstein

konnten wir Einblicke in die Produktion erlangen und auch das optimierte Blitzschutzkonzept des Hauptgebäudes wurde erläutert. Besonders spannend wurde es im Testlabor, bei dem im Test ein „herkömmlicher“ Überspannungsschutzschalter mit einer Neuentwicklung verglichen wurde.

Nach der Firmenbesichtigung wurde spontan ein kultureller Tagesordnungspunkt eingeschoben: Ein Spaziergang zu der Burgruine Wolfstein. Zum Tages- und Exkursionsausklang wurden die gesammelten Eindrücke und Erfahrungen noch ausgiebig bei einem Bier und griechischem Essen diskutiert.

### **Excursion of the lecture “Elektrische Energieanlagen” to E-T-A and DEHN + SÖHNE**

The excursion of the lecture “Elektrische Energieanlagen” led us this year to the south of Germany. Visiting the companies E-T-A and DEHN + SÖHNE should help to vitalize the lecture contents.

Early on Tuesday morning the bus was waiting in front of the Museum of Natural History (Naturhistorische Museum) in Braunschweig to drive us at first to E-T-A in Altdorf (near Nürnberg). There we had the chance to visit the production facilities of E-T-A. We watched the manual assembling of an aircraft style circuit breaker but also fully automated assembly lines of miniaturized circuit breakers were shown. The exciting day ended with a dinner in relaxed atmosphere where we had the possibility to discuss and exchange our experiences of the day with engineers of E-T-A.

The next morning we went to the nearby town Neumarkt to visit the company DEHN + SÖHNE. DEHN+SÖHNE is specialized in the fields of surge and lightning protection. Introductory presentations about the company and basic principles of lightning and surge protection were followed by a guided tour through the production area. Furthermore, the optimized lightning protection system of the main building was shown and explained. A highlight was

the comparison between a traditional surge protection device and a new development in their testing laboratory.

The next day we arrived back in Braunschweig with lots of interesting new experiences and impressions.

### **International Program of Energy**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt*

Auch in diesem Jahr hat unser Institut in Kooperation mit der *Universidade Federal Fluminense* aus Rio de Janeiro / Brasilien und Mitarbeitern um Herrn Dr. Detlef Schiel von der PTB in Braunschweig das International Program of Energy in der zweiten und dritten Septemberwoche veranstaltet.

Hierzu haben, wie zuvor in den letzten vier Jahren, eine Vielzahl von Professoren der TU Braunschweig sowie Experten aus dem Umfeld der Universität Fachvorträge zu Themen wie Biokraftstoff, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Vermeidung gehalten. Seitens des elenia referierte neben Phillip Gronstedt auch Johannes Diedrich von den Carbon Scouts.



Abbildung 1: Unsere brasilianischen Gäste im Seminarraum des elenia

Figure 1: Our Brazilian guests at our department

Als Ergänzung zu den theoretischen Vorträgen wurde das Programm durch Exkursionen in der Region erweitert. Neben Besichtigungen der Werke von Volkswagen, Solvis und Enercon, bekamen unsere Gäste auch Einblicke in die deutsche Kraftwerkstechnik mit dem Besuch des Heizkraftwerks Mitte in Braunschweig. Unsere Gäste haben sowohl die Vorträge als auch die Besichtigungen sehr interessiert wahrgenommen und es fand auch abseits der Vor-



träge ein angeregter fachlicher Austausch statt. Somit kann auch die diesjährige Veranstaltung als voller Erfolg hinsichtlich des angestrebten internationalen Wissenstransfers gewertet werden.

### **International Program of Energy**

Elenia initiated their International Program of Energy this year together with Rio de Janeiro's university, Universidade Federal Fluminense and the PTB in the mid of September 2011. The workshop was a very successful cultural as well as scientific interaction between our Brazilian and our university. Many professors of the TU Braunschweig gave lectures on energy related research topics. Besides Professor Kurrat also Johannes Diedrich and Phillip Gronstedt gave our Brazilian guest some idea of some of our interesting fields of research.

Moreover, the workshop was completed by several different site visits such as Volkswagen AG (Wolfsburg), Enercon (Magdeburg), Solvis (Hannover) as well as the PTB and BS|ENERGY in Braunschweig.

Based on the positive feedback of our Brazilian friends, the program was not just an interesting event from a scientific view, but also a lot of fun with cultural day trips to Hamburg and Berlin. Therefore, we are looking forward to welcome a group of Brazilian students and professionals for another successful seminar in 2012.

### **Institutsexkursion nach Bremerhaven**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk*

Auch in diesem Jahr hat das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen wieder eine gemeinsame Exkursion unternommen. Das Ziel unserer Reise war die maritime Hafenstadt Bremerhaven. Im Gegensatz zu den Vorjahren wurde die Exkursion mit einer Übernachtung in der Jugendherberge verknüpft. Die Unterbringung erfolgte in gut ausgestatteten Mehrbettzimmern bis zu einer Größe von vier Personen. Eingeladen zur Exkursion waren neben allen Mitarbeiter und Ehemaligen auch ausgewählte Studierende.

Wir starteten unsere Tour am 12.10.2011 in Braunschweig um 7:30 Uhr. Die Busfahrt verlief ohne Stau, sodass auf dem Weg nach Bremerhaven Zeit für eine kurze Kaffeepause an einer Raststätte blieb.

Pünktlich um 11:00 Uhr angekommen, wurden wir von zwei Vertretern der Firma Powerwind GmbH, einem Windkraftanlagenhersteller, in Empfang genommen. Anschließend bekamen wir die Gelegenheit, einem Fachvortrag zur Netzintegration von Windkraftanlagen zu folgen sowie eine Führung durch die Produktionshallen zu genießen. An dieser Stelle gilt unser Dank den Herren Bartsch und Seupt der Firma Powerwind für Ihr Engagement.

Im Anschluss an den Firmenbesuch wurden wir in die nahegelegene Unterkunft transferiert. Hier wartete bereits das von den Teilnehmern herbeigesehnte Mittagessen, bevor das einche-

cken erfolgte. Die Zeit bis zum nächsten gemeinsamen Programmpunkt konnten die Teilnehmer frei gestalten.

Das Ende des ersten Tages wurde mit einer Hafenrundfahrt durch den Fischereihafen mit der MS Dorsch eingeläutet. In der knapp eineinhalbstündigen Fahrt wurde den Teilnehmern der Strukturwandel dieses Gebietes vom ehemaligen Schwerpunkt Fischfang hin zu einem Zentrum der Windenergiebranche mit dem für einen Kapitän typischen, trockenen Humor nähergebracht. Bestens eingestimmt für die Abendveranstaltung ist der erste Tag der Exkursion mit einem Fischbüffet im nahegelegenen Restaurant „Reinhardt“ ausgeklungen. Hier unterhielt uns Herr Prof. Kurrat mit einem kurzen Rückblick über die Geschehnisse seiner mittlerweile zehnjährigen Institutszugehörigkeit.

Der Zweite Tag begann ebenfalls zeitig um 7:30 Uhr mit einem gemeinsamen Frühstück. Direkt im Anschluss haben die Herren Professoren Kurrat und Engel den interessierten Mitarbeitern, Ehemaligen sowie Studierenden die zukünftige strategische Institutsausrichtung nähergebracht.



Abbildung 1: Teilnehmer des Institutsausflugs

Figure 1: Members of the excursion

Nach dem erfolgreichen Auschecken aus der Jugendherberge erfolgte ein Transfer zum Klimahaus Bremerhaven. Hier konnten wir die Ausstellung zum Thema „Elemente, Perspektive und Chancen des Klimas“ auf eigene Faust erkunden. Die verbleibende Zeit bis zu unserer Rückfahrt nach Braunschweig konnten die Teilnehmer wiederum individuell gestalten. Viele

nutzten die Gelegenheit, um in den nahe gelegenen Gastronomiebetrieben das herrliche Wetter zu genießen, oder von der Aussichtsplattform des Atlantic Hotels Bremerhaven einen Blick in die Ferne zu werfen.

Unsere Rückreise nach Braunschweig verlief dank unseres Fahrers Herrn Förster ebenso reibungslos wie die Anreise, sodass wir gegen 16:00 Uhr eine ereignisreiche Exkursion glücklich und zufrieden beenden konnten.

### **Trip to Bremerhaven**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk*

This year, the institute visits with his members the port city of Bremerhaven. All staff and alumni as well as some students were invited.

We started our journey on the 12th October. First we visited the company wind power, a wind turbine manufacturer. After visiting the manufacturer, we went to the hostel where we get our lunch. The following period up to a planned harbour tour, the participants were able to use the time. Completed was the first evening with a seafood buffet and a review of Prof. Kurrat over 10 years of Institute history at the fishing port of Bremerhaven.

The second day started with breakfast. Then we heard a short lecture about the future development of the institute. Completed was the second day with a visit of the climate house Bremerhaven.

## 5 Veröffentlichungen und Vorträge - Publications

**M. Kurrat**

*Anforderungen der Elektromobilität an Energienetze, Umfeld für Plug-In-Hybridfahrzeuge und Elektrofahrzeuge*  
Seminarreihe Elektromobilität des ITS  
Niedersachsen, 14. Februar 2011, Braunschweig

**N. Hemdan, M. Kurrat**

*Interconnection of Decentralized Renewable Resources into Distribution Grids: Implications and Planning Aspects*  
Electric Power Systems Research 81, 15.  
Februar 2011

**V. Ermel, M. Kurrat**

*Phasenverteilung der Barrierenentladungen in Mikrokavitäten*  
15. Fachtagung Plasmatechnologie, 28.  
Februar - 02. März 2011, Stuttgart

**H. Haupt, M. Kurrat, D. Wedler**

*Ansätze für eine demontagefreundliche Batteriegestaltung*  
Kraftwerk Batterie, 01.-02. März 2011,  
Aachen

**A. Kwade, C. Hanisch, W. Haselrieder,  
C. Herrmann, A. Raatz, M. Kurrat,  
H. Haupt**

*LithoRec – Aufbereitung von Lithium-Ionen-Batterien zur hydro-metallurgischen Rückgewinnung von Lithium und Übergangsmetallen*  
Kraftwerk Batterie, 01.-02. März 2011,  
Aachen

**P. Gronstedt, H. Haupt, M. Kurrat**

*Electrical Storage Management within flexible distribution networks*  
Kraftwerk Batterie, 01.-02. März 2011,  
Aachen

**B. Engel et al.**

*Dezentrale Energieeinspeisung – Systemdienstleistungen aus dem Niederspannungsnetz*  
10. ETG/GMA-Fachtagung Netzregelung und Systemführung, 23.-24. März 2011,  
München

**M. Stötzer, P. Gronstedt, Z. Styczynski,  
H. Weber**

*Möglichkeiten der Laststeuerung im deutschen Netz*  
VDE Fachtagung "Die Dynamik des Netzes", 23.-24. März 2011, München

**M. Kurrat, M. Budde**

*Grundlagen der physikalischen Vorgänge II - Äußere Teilentladungen*  
Technische Akademie Esslingen, Teilentladungen in hoch beanspruchten elektrischen Isolierungen, 12.-13. April 2011

**B. Engel et al.**

*Leistungselektronik bei dezentralen erneuerbaren Energien – insbesondere bei Photovoltaik-Wechselrichtern*  
6. ETG-Fachtagung Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen, 13.-14. April 2011, Bad Nauheim

**B. Bünsow, E.-D. Wilkening, M. Kurrat**

*Transient voltage behavior of turned off  
600 V IGBT<sup>3</sup>*

PCIM Europe 2011, 17.-19. Mai 2011,  
Nürnberg

**M. Bunk, H. Haupt, P. Gronstedt,**

**M. Kurrat**

*Ansätze zur Speicherung elektrischer  
Energie in zukünftigen intelligenten  
Stromnetzen*

Schriftlicher Management-Lehrgang in 6  
Lektionen – Stromspeicherung. Lektion 1.  
Düsseldorf: Euroforum Verlag GmbH,  
2011.

**A. Dammasch, M. Bunk, M. Kurrat,**

**T. Jänicke-Klingenberg**

*Virtuelle Kraftwerke*

Schriftlicher Management-Lehrgang in 6  
Lektionen – Stromspeicherung. Lektion 5.  
Düsseldorf: Euroforum Verlag GmbH,  
2011.

**M. Bunk, M. Kurrat**

*Stromnetze im Überblick*

Schriftlicher Management-Lehrgang in 6  
Lektionen – Technikwissen Stromnetze für  
Nicht-Techniker. Lektion 1. Düsseldorf:  
Euroforum Verlag GmbH, 2011

**M. Bunk, H. Waitschat**

*Netzbetrieb*

Schriftlicher Management-Lehrgang in 6  
Lektionen – Technikwissen Stromnetze für  
Nicht-Techniker. Lektion 5. Düsseldorf:  
Euroforum Verlag GmbH, 2011

**A. Dammasch, M. Bunk, M. Korte,**

**M. Kurrat**

*Field test of grid oriented CHP micro units  
for the domestic energy supply*

Cired 2011, 06.-09. Juni 2011, Frankfurt  
am Main

**P. Gronstedt, A. Dammasch, M. Pielke,**

**M. Tröschel, M. Kurrat, H.-J. Appelrath**

*Virtual power plants of micro CHP units  
combined with active components reducing  
peak loads and load fluctuations*

Cired 2011, 06.-09. Juni 2011, Frankfurt  
am Main

**M. Stötzer, P. Gronstedt, Z. Styczynski**

*Demand Side Management Potential – A  
case study for Germany*

Cired 2011, 06.-09. Juni 2011, Frankfurt  
am Main

**C. Wolf, M. Kurrat, M. Lindmayer,**

**D. Gentsch**

*Arcing Behavior on Different TMF-  
Contacts at High-Current Interrupting  
Operations*

IEEE Transactions on Plasma Science,  
Volume 39, Issue 6, Juni 2011

**J. Riß**

*Untersuchungen zur Vereinfachung der  
Strömungssimulation von Niederspan-  
nungslichtbögen*

2. Wissenschaftliches Kolloquium der  
Hochschulen TU Ilmenau und TU Braun-  
schweig, 18.-19. Juli 2011

**I. Gramberg**

*Auswirkungen von Schalthandlungen auf die dielektrischen Eigenschaften von Vakuum-schaltkammern*

2. Wissenschaftliches Kolloquium der Hochschulen TU Ilmenau und TU Braunschweig, 18.-19. Juli 2011

**C. Wolf**

*Experimentelle Untersuchung des Vakuumbogens auf TMF-Kontakten*

2. Wissenschaftliches Kolloquium der Hochschulen TU Ilmenau und TU Braunschweig, 18.-19. Juli 2011

**M. Blaz**

*Untersuchungen zur Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff als Isoliermedium*

2. Wissenschaftliches Kolloquium der Hochschulen TU Ilmenau und TU Braunschweig, 18.-19. Juli 2011

**I. Gramberg, M. Kurrat, D. Gentsch**

*Studies on evaporation of ceramic surfaces in vacuum circuit breakers and the effect on dielectric performance*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**M. Hilbert, M. Kurrat**

*Aging Test of Silicon Hydrophobicity with Non-Ideal DC under Influence of Voltage Parameters*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**V. Ermel, E. Mohns, J. Meisner, O. Binder, W. Lucas, M. Kahmann, M. Kurrat**

*Traceable Measurement of Power Losses in HVDC Converter Valves*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**M. Schmidt, J. Meisner, W. Lucas**

*Improvement and Upgrading of the PTB standard measurement system for high alternating voltages*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**J. Meisner, M. Schmidt, W. Lucas**

*Generation and Measurement of AC Ripple at High Direct Voltage*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**M. Blaz, M. Kurrat**

*Investigation of the electrical discharge behavior of insulators immersed in liquid nitrogen*

17th International Symposium on High Voltage Engineering, 22.-26. August 2011, Hannover

**T. Schrank, E.-D. Wilkening, M. Kurrat**

*Studies on arc quenching behavior of various lightweight composites as arcing chamber material for DC applications*

19th Symposium on Physics of Switching Arc, 5.-9. September 2011, Brno/Tschechien

**C. Wolf, M. Kurrat, M. Lindmayer,  
D. Gentsch**

*Non-Contact Temperature Measurement  
on CuCr-Electrodes in Vacuum after High-  
Current Interruption*

19th Symposium on Physics of Switching  
Arc, 5.-9. September 2011,  
Brno/Tschechien

**I. Gramberg, M. Kurrat, D. Gentsch**  
*Investigations on Condensed Metal Vapour  
Layers on Alumina Ceramics in Vacuum  
Interruptions Caused by Switching Load-  
and Short Circuit Currents*

19th Symposium on Physics of Switching  
Arc, 5.-9. September 2011,  
Brno/Tschechien

**J. Reiß, M. Kurrat, M. Lindmayer**  
*Considerations to Simplify the Numerical  
Gas Flow Simulation of Low Voltage Arcs*  
19th Symposium on Physics of Switching  
Arc, 5.-9. September 2011,  
Brno/Tschechien

**P. Gronstedt, H. Haupt, M. Kurrat**  
*Grid-Integration of distributed and renew-  
able energy resources by schedule man-  
agement, demand-side management and  
electrical energy storage*  
PVSEC 2011, 05.-09. September 2011,  
Hamburg

**M. Blaz, M. Kurrat**  
*Studies of breakdowns in liquid nitrogen at  
different pressures between Rogowski elec-  
trodes*  
EUCAS 2011, 18.-23. September 2011,  
Den Haag, Niederlande

**J. Meisner, O. Binder, M. Kurrat**  
*Energiemesstechnik in der Hochspan-  
nungs-Gleichstromübertragung*  
VDE Seminar 75 Jahre HGÜ, 26.-27. Sep-  
tember 2011, PTB Berlin

**B. Deppe, M. Kurrat, A. Schwarze,  
F. Eggert**  
*Applying the SORKC-model to the analysis  
and modification of energy consumption  
behavior*  
9th Biennial Conference on Environmental  
Psychology, 26.-28. September 2011, Ein-  
dhoven, Niederlande

**T. Schrank, E.-D. Wilkening, M. Kurrat**  
*Untersuchung des Ausschaltverhaltens  
verschiedener Löschkammermaterialien  
bei Gleichspannung*  
Albert-Keil-Kontaktseminar 2011, 28.-30.  
September 2011, Karlsruhe

**E. Mohns, J. Meisner**  
*AC und DC Rückführung gleichstromfähi-  
ger Stromwandler*  
264. PTB Seminar Leistungsmesstechnik,  
03. November 2011, PTB Braunschweig

**M. Bunk, B. Deppe, M. Kurrat**  
*Zusammenspiel von Erzeugung und Ver-  
brauch im aktiven Verteilnetz*  
ETG Kongress 2011, Fachtagung „Heraus-  
forderungen für Mittel- und Niederspan-  
nungsnetze - neue Aufgaben, alte Netze“,  
08.-09. November 2011, Würzburg

**H.-J. Appelrath, H.-P. Beck,  
L. Hofmann, A. Huck, A. Dammasch,  
M. Kurrat**

*Der netzorientierte Verbundbetrieb von  
dezentralen Anlagen im Niederspannungs-  
netz*

ETG Kongress 2011, Fachtagung „Heraus-  
forderungen für Mittel- und Niederspan-  
nungsnetze - neue Aufgaben, alte Netze“,  
08.-09. November 2011, Würzburg

**B. Engel et al.**

*Neue Systemdienstleistungen von Solar-  
wechselrichtern am Nieder- und Mit-  
telspannungsnetz.*

ETG Kongress 2011, Fachtagung „Leis-  
tungselektronik in Netzen“, 08.-09. No-  
vember 2011, Würzburg

**B. Engel et al.**

*Dezentrale Spannungsregelung in intelli-  
genten Niederspannungsnetzen – Leis-  
tungselektronische Komponenten zur Er-  
höhung der Aufnahmekapazität für erneu-  
erbare Erzeugungseinheiten*

ETG Kongress 2011, Fachtagung „Leis-  
tungselektronik in Netzen“, 08.-09. No-  
vember 2011, Würzburg

**B. Deppe, A. Dammasch, M. Kurrat,  
R. Freier**

*Technische Hürden und Kundenakzeptanz  
eines Mehrsparten Smart Metering Pilot-  
projektes - Ein Erfahrungsbericht*

ETG Kongress 2011, Fachtagung „Aktive  
Kundenbeteiligung an zukünftigen Strom-  
märkten“, 08.-09. November 2011, Würz-  
burg

**B. Deppe, M. Kurrat, A. Schwarze,  
F. Eggert, F. Viedt, S. Münzberg,  
D. Tiemann**

*Energieeinsparung durch Smart Metering -  
Beschreibung des technischen Potenzials  
und Analyse des Kundenverhaltens*

ETG Kongress 2011, Fachtagung „Aktive  
Kundenbeteiligung an zukünftigen Strom-  
märkten“, 08.-09. November 2011, Würz-  
burg



## 5.1 Berichte in den Medien - News

*TU Braunschweig bekommt Tankstelle für Elektro-Autos*

09.02.2011, Braunschweiger Zeitung

*Ein erster wichtiger Baustein - TU Braunschweig erforscht mit Hilfe einer Strom-Zapfsäule Elektromobilitätskonzepte*

09.02.2011, neue Braunschweiger

*Test für das Stromnetz der Zukunft*

18.02.2011, Braunschweiger Zeitung

*Erhitzte Debatte über Stromtrasse*

09.03.2011, Braunschweiger Zeitung

*"Wir werden uns wehren" - Diskussionsforum über Hochspannungsleitungen*

20.03.2011, neue Braunschweiger

*Wenn kein Strom aus der Steckdose kommt*

23.03.2011, Braunschweiger Zeitung

*Stromautobahnen für erneuerbare Energien*

04.04.2011, Kundenmagazin BS-Energy

*Damit die E-Mobilität funktioniert, ziehen TU und PTB an einem Strang*

21.06.2011, Braunschweiger Zeitung

*Im nächsten Jahr sollen Busse mit Elektro-Antrieb um den Ring fahren*

19.07.2011, Braunschweiger Zeitung

*Autos zum Fliegen, Jugendpartys ohne Alkohol*

01.09.2011, Braunschweiger Zeitung

*TU-Day Braunschweig*

23.09.2011, TV38... vor Ort



Kontakt:

Technische Universität Braunschweig

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen

Schleinitzstr. 23

38106 Braunschweig

Telefon: +49 531 391-7737

Telefax: +49 531 391-8106

[elenia@tu-braunschweig.de](mailto:elenia@tu-braunschweig.de)

[www.tu-braunschweig.de/elenia](http://www.tu-braunschweig.de/elenia)