



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



# Jahresbericht 2012

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen

# **Jahresbericht 2012**



## 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 .....   | 18         |
| 2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects.....                                   | 19         |
| 2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses .....  | 20         |
| 2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses.....  | 21         |
| 2.6 Masterarbeiten - Master Theses .....   | 22         |
| <b>3 Berichte aus Forschung und Entwicklung - Abstracts on Research Projects .....</b> | <b>25</b>  |
| 3.1 Arbeitsgruppe Energiesysteme - Working Group Energy Systems .....                  | 25         |
| 3.2 Arbeitsgruppe Gleichstromsysteme - Working Group DC Power Systems .....            | 42         |
| 3.3 Arbeitsgruppe Isoliersysteme - Working Group Insulation Systems.....               | 56         |
| 3.4 Arbeitsgruppe Schaltgeräte - Working Group Switching Devices .....                 | 66         |
| 3.5 Carbon-Scout.....  | 75         |
| 3.6 Dissertationen – Dissertations .....   | 77         |
| <b>4 Besondere Ereignisse 2012 - Special Events 2012 .....</b>                         | <b>83</b>  |
| 4.1 Kalender der besonderen Ereignisse .....   | 83         |
| 4.2 Berichte von besonderen Ereignissen - Reports on Special Events .....              | 94         |
| <b>5 Veröffentlichungen und Medienberichte .....</b>                                   | <b>111</b> |
| 5.1 Veröffentlichungen und Vorträge - Publications .....                               | 111        |
| 5.2 Berichte in den Medien - News.....   | 114        |



Liebe Freunde des Instituts,

die Bundeskanzlerin sagte im Mai, die Umsetzung der Energiewende sei ein "zentrales Vorhaben dieser Legislaturperiode". Unser ehemaliger Umweltminister Norbert Röttgen habe zwar dafür entscheidend die Grundlage gelegt, es bleibe aber noch "ein Stück Arbeit vor uns". Die Welt titelte "Peter Altmaier, Deutschlands neuer Energiebolzen" und zitierte seine zentrale Botschaft "Die Energiewende kann nur gelingen, wenn wir miteinander reden, unsere Erkenntnisse zusammen tragen und gemeinsam handeln".

Daraus ziehen wir unsere Schlüsse. Die Energiewende hat erst gerade begonnen und der Umbau der Energieversorgung wird uns noch viele Legislaturperioden beschäftigen. Die Forschung muss die Diskussion mit Wirtschaft, Politik sowie Gesellschaft führen und den Prozess aktiv begleiten. Und genau hier setzen wir an.

So haben wir in diesem Jahr unser Engagement im Forum Netztechnik Netzbetrieb (FNN) im VDE entscheidend verstärkt. Gemeinsam mit Netzbetreibern und Industrie können wir im Vorstand, im Forum sowie in der Task Force Dezentrale Erzeugung Politik und Gesellschaft informieren und den Umbau der Netze mitgestalten.

Um dafür die technischen Voraussetzungen zu schaffen, haben wir in Kooperation mit dem weltgrößten Hersteller für Solarwechselrichter ein neues Netzintegrationslabor am Institut eingerichtet. Gleichzeitig richten wir die gemeinsame Projektakquise mit unseren Industriepartnern verstärkt auf Verbundprojekte der Berliner Ministerien für Umwelt, Wirtschaft und Verkehr aus.

So dürfen wir uns mit unseren Partnern über die Auswahl der Metropolregion Hannover Braunschweig Wolfsburg Göttingen für das „Schaufenster Elektromobilität“ durch die Bundesregierung freuen. Ebenso sind wir auch an Leuchtturmprojekten wie PriMove oder Litho-Rec beteiligt. Hier werden die induktive Ladung von Elektrobussen und das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien erforscht.

Der Forschungsbau für das Niedersächsische Forschungszentrum Fahrzeugtechnik – kurz NFF – geht in die entscheidende Phase. Im September erfolgte die Grundsteinlegung durch den niedersächsischen Ministerpräsidenten David McAllister und Prof. Martin Winterkorn, Vorstandsvorsitzender der Volkswagen AG. Der erste Bauabschnitt entsteht in unmittelbarer Nachbarschaft zum „Campus Forschungsflughafen“ sowie zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR) und bietet uns die Verknüpfung zwischen Energieversorgung und Elektromobilität.

Das Land Niedersachsen unterstützt ganz besonders die Energieforschung. So bietet die Battery LabFactory Braunschweig – kurz BLB – uns hervorragende Bedingungen für unsere Verbundprojekte. Als weiteres wichtiges Mitglied im BLB ist dieses Jahr die PTB dazugekommen. Von der TU Braunschweig werden sich über das BLB hinaus ca. zehn Professoren als Forschungsknoten Dezentrale Energiespeicher weiter im EFZN einbringen. Gleichzeitig ermöglicht uns der neue norddeutsche Forschungsverbund Smart Nord, neue Markt- und Geschäftsmodelle für dezentrale Systemdienstleistungen für das Verteilnetz zu erarbeiten.

Damit wir auch weiterhin erfolgreich agieren, organisierten wir im Juni 2012 unseren Strategieworkshop 2.0 am elenia. Mit einem eigenen Projektmanagement-Office PMO werden wir in Zukunft den Anforderungen in Forschung und Lehre noch besser gerecht.

Nach vielen Jahren mussten wir uns Mitte des Jahres von der Konstruktionsabteilung verabschieden. Frau Susanne Wahl geht nach 37 Jahren unermüdlicher Unterstützung unserer Forschungs- und Lehrtätigkeit in den Ruhestand. Fast gleichzeitig mit ihr verabschiedet sich auch Herr Norbert Schmidt nach 11 Jahren in die Altersteilzeit. Wir wünschen ihnen alles Gute für den weiteren Lebensweg.

Tief bewegt hat uns der Tod von Herrn Dr. Werner Kodoll. Er hat sich über viele Jahre hinweg um die Abteilung Hochspannungstechnik verdient gemacht. Wir trauern auch um unseren ehemaligen Werkstattmitarbeiter Dietmar Obst.

Wir dürfen aber auch über Personalverstärkungen in Geschäftsstelle und Elektronikwerkstatt berichten. Mit dem Eintritt von Frau Anne Markaschke im Oktober und Herrn Christian Ryll im April können wir nun Forschung und Lehre optimal bedienen.

Unsere Lehrveranstaltungen sind sehr gut besucht. Neue Studiengänge – wie z.B. Umweltingenieurwesen – bringen frischen Wind in unsere Lehre und im Zuge der Reakkreditierung der Elektrotechnik im Jahr 2014 werden wir mit dem neuen Master-Studiengang Elektromobilität starten. Weitere Unterstützung in der Lehre erhalten wir von Prof. Sommer von der PTB. Er wurde zum Honorarprofessor ernannt. Das große Interesse der Studierenden an der Energietechnik sicherte uns in diesem Jahr zusätzlich die Unterstützung durch 70 wissenschaftliche Hilfskräfte und 50 studentische Arbeiten.

Ein neues Format hatte im November 2012 seine Premiere. Das elenia veranstaltete sein erstes energietechnisches Symposium. Das wissenschaftliche Programm richtete sich mit vier Vorträgen hochkarätiger Referenten und den Institutsbesichtigungen an ein Fachpublikum. Abgerundet wurde das Symposium durch eine Abendveranstaltung mit den ehemaligen und jetzigen Angehörigen des Instituts. Dank der Initiative von Herrn Prof. Kind hatte ein kleiner

Kreis am darauffolgenden Vormittag die Gelegenheit, die zurückliegenden Ereignisse Revue passieren zu lassen.

Mit dem Wunsch für ein gutes und erfolgreiches Jahr 2012 bedanken wir uns herzlich bei Ihnen, unseren Partnern aus den Unternehmen und Forschungseinrichtungen, den Lehrbeauftragten, der Deutschen Forschungsgesellschaft, den Projektträgern, den Bundesministerien, der Volkswagenstiftung sowie dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur, für die Unterstützung unserer Arbeiten.

Braunschweig, im Dezember 2012

Handwritten signature of Michael Kunst in cursive script.Handwritten signature of Bernd Engel in cursive script.



## 1 Personelle Besetzung des Instituts - Staff

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Vorstand:                    | Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat<br>(Geschäftsführender Institutsleiter)<br>Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel   |
| Professoren<br>im Ruhestand: | Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner<br>Tegernsee<br><br>Prof. a. D. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer<br>Braunschweig<br><br>Prof. a. D. Dr.-Ing. Jürgen Salge<br>Salzgitter-Osterlinde  |
| Honorarprofessoren:          | Prof. Dr.-Ing. Bernhard von Gersdorff, Berlin<br>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind, Braunschweig  |
| Lehrbeauftragte:             | Dr.-Ing. Hartmut Knobloch, Berlin<br>Dr.-Ing. Harald Waitschat, Braunschweig  |
| Sekretariat:                 | Christine Nardmann<br>Jacqueline Schmidt<br>Anne Markaschke   |
| AG Energiesysteme:           | Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip Gronstedt (AG-Leiter)<br>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marcus Bunk<br>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arne Dammasch<br>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Funck<br>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hannes Haupt<br>M. Sc. Stefan Laudahn<br>Dipl.-Ing. (FH) Frank Soyck<br>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger<br>Dipl.-Ing. Jan Bellin (ext. Doktorand, VW)<br>M. Eng. Tarek Fawzy (ext. Doktorand SMA)<br>M. Sc. Michael Wiest (ext. Doktorand Hochschule Augsburg) |

|                         |                                   |                                      |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| AG Gleichstromsysteme:  | Dr.-Ing.                          | Vladimir Ermel (AG-Leiter)           |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Ole Binder                           |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Daniel Hauck                         |
|                         | Dr.-Ing.                          | Nasser Hemdan                        |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Johann Meisner (ext. Doktorand, PTB) |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Enrico Mohns (ext. Doktorand, PTB)   |
|                         | Dipl.-Wirtsch.-Ing.               | Benjamin Munzel                      |
|                         | M. Sc.                            | Uwe Westerhoff                       |
| AG Isoliersysteme:      | Dipl.-Ing.                        | Michael Blaz                         |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Ingo Gramberg                        |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Michael Hilbert                      |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Hendrik-Christian Köpf               |
| AG Schaltgeräte:        | Dr.-Ing.                          | Ernst-Dieter Wilkening (AG-Leiter)   |
|                         | M. Sc.                            | Sergej Puzankov                      |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Julia Rüter                          |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Bernd Schottel                       |
|                         | Dipl.-Ing.                        | Thorsten Schrank                     |
| Technische Angestellte: | Christian Ryll                    |                                      |
|                         | Bernhard Wedler                   |                                      |
| Werkstattmitarbeiter:   | Kerstin Rach (Werkstatteleiterin) |                                      |
|                         | Frank Haake                       |                                      |
|                         | Klaus-Dieter Kozowsky             |                                      |
|                         | Reinhard Meyer                    |                                      |

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2012 ausgeschieden:

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| Am 31.01.2012 | Björn Bünsow      |
| Am 29.02.2012 | Johannes Diedrich |
| Am 29.02.2012 | Benjamin Munzel   |
| Am 31.03.2012 | Thorsten Kroker   |
| Am 14.05.2012 | Frank Bosse       |
| Am 31.07.2012 | Norbert Schmidt   |
| Am 13.08.2012 | Susanne Wahl      |
| Am 31.12.2012 | Thorsten Schrank  |

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2012 neu hinzugekommen:

|               |                        |
|---------------|------------------------|
| Am 01.01.2012 | Franziska Funck        |
| Am 01.01.2012 | Frank Soyck            |
| Am 01.01.2012 | Sergej Puzankov        |
| Am 23.04.2012 | Christian Ryll         |
| Am 01.06.2012 | Uwe Westerhoff         |
| Am 01.06.2012 | Benjamin Munzel        |
| Am 11.06.2012 | Daniel Unger           |
| Am 01.07.2012 | Hendrik-Christian Köpf |
| Am 09.07.2012 | Nasser Hemdan          |
| Am 15.10.2012 | Anne Markaschke        |
| Am 15.11.2012 | Daniel Hauck           |

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2012 tätig:

|                           |                        |                       |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| Alstadt, Christoph        | Klefer, Carina Martina | Reitz, Dominik        |
| Aust, Ralf Steffen        | Klosinski, Christoph   | Rewald, Florian       |
| Barbosa da Silva, Bernard | Kluge, Marius          | Runge, Tobias         |
| Berlinecke, Julian        | Köpf, Hendrik          | Scherg-Kurmes, Harald |
| Bolz, Anton               | Kühn, Benjamin         | Schrader, Robin       |
| Bösche, Dirk              | Kunowski, Karol        | Schramm, Christian    |
| Brandes, Sabrina          | Loges, Hauke           | Shi, Gaolei           |
| Brodale, Ricardo          | Lüdtke, Tim            | Spohr, Alexander      |
| Clasen, Philipp Ascan     | Maiberg, Christian     | Stadtman, Henrik      |
| Dreger, Marcel            | Marggraf, Ole          | Tallen, Michael       |
| Ernestus Maximilian       | Matern, Marius         | Testasecca, Stefan    |
| Fröhner, Maike            | Mayr, Kerstin          | Thienemann, Christian |
| Glaser, Irina             | Menges, Manuel         | van der Wall, Lennert |
| Gorny, René               | Moos, Dirk             | von Eimen, Dominik    |
| Gries Rueda, Claudio      | Müller, Ulrich         | Weber, Benjamin       |
| Guljakow, Jürgen          | Muuß, Fridolin         | Weege, Henning        |
| Hanisch, Stefan           | Namdar, Hava           | Weidemann, Daniel     |
| Heinz, Michael            | Panko, Ievgenii        | Wermuth, Sebastian    |
| Herweg, Wiebke            | Passon, Stephan        | Widok, Michael        |
| Iovaldi, Marco            | Pieniak, Tobias        | Wienken, Henrik       |
| Ismar, Fabian             | Preißler, Anne         | Yin, Juanjuan         |
| Janßen, David             | Rakidzija, David       | Ziegert, Christopher  |
| Jurek, Lukas              | Rauscher, Florian      |                       |
| Kaschel, Henning          | Reinhold, Christian    |                       |



## 2 Lehre - Lectures

### 2.1 Vorlesungen und Praktika - Lectures and Laboratories

| <b>Vorlesungstitel</b>                             | <b>Vortragender</b>          | <b>Zeitraum</b>    |
|--|------------------------------|--------------------|
| e-Learning Dezentrale Energiesysteme               | Prof. Engel                  | WS 12/13           |
| Elektrotechnik 1 für Maschinenbau                  | Prof. Engel                  | WS 12/13           |
| Elektrotechnik 2 für Maschinenbau                  | Prof. Engel                  | SS 12              |
| Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen      | Prof. Engel                  | SS 12              |
| Elektrische Energieanlagen I                       | Dr. Wilkening                | WS 12/13           |
| Elektrische Energieanlagen II                      | Dr. Wilkening                | SS 12              |
| Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke       | Dr. Waitschat                | WS 12/13           |
| Energiewirtschaft im Wandel                        | Prof. Kurrat                 | SS 12              |
| Grundlagen der elektrischen Energietechnik         | Prof. Kurrat,<br>Prof. Engel | SS 12              |
| Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure | Prof. Kurrat                 | WS 12/13           |
| Hochspannungstechnik I                             | Prof. Kurrat                 | WS 12/13           |
| Hochspannungstechnik II                            | Prof. Kurrat                 | SS 12              |
| Innovative Energiesysteme                          | Prof. Engel                  | SS 12              |
| Managementmethoden für Ingenieure                  | Dr. Knobloch                 | WS 12/13           |
| Numerische Berechnungsverfahren                    | Prof. Kurrat                 | WS 12/13           |
| Plasmatechnik                                      | Prof. Kurrat                 | WS 12/13           |
| Systemtechnik in der Photovoltaik                  | Prof. Engel                  | WS 12/13           |
| Technologien der elektrischen Energienetze         | Prof. Kurrat,<br>Prof. Engel | SS 12              |
| <b>Praktika</b>                                    |                              |                    |
| Innovative Energiesysteme - Praktikum              |                              | SS 12              |
| Numerische Berechnungsverfahren - Rechnerpraktikum |                              | SS 12              |
| Praktikum Netzberechnung                           |                              | SS 12,<br>WS 12/13 |
| Hochspannungstechnik - Praktikum                   |                              | WS 12/13           |
| Energietechnisches Kolloquium                      |                              | SS 12,<br>WS 12/13 |

### **e-Learning Dezentrale Energiesysteme**

(WS 12/13) 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 12/13) 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 12) 2 V, 1 Ü

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

### **Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen**

(SS 12) 1 V

Traktionsmechanik • Bahnstromversorgung • Elektrische • Traktion • Bremsen • Hilfsbetriebe • Signal- und Sicherungssysteme • Leittechnik • Fahrgastinformation • Ausgeführte Fahrzeuge • Zukünftige Entwicklungen

### **Elektrische Energieanlagen I**

(WS 12/13) 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 12) 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

---

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

### **Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke**

(WS 12/13) 2 V, 1 Ü

Elektrizitätswirtschaft als Teil der Energiewirtschaft • Probleme der Weltenergiewirtschaft • Charakteristiken des Stromverbrauchs • Traditionelle Energieerzeugung • Regenerative Energieerzeugung • Umweltaspekte der Energiegewinnung • Internationale Verbundwirtschaft der Elektrizitätswerke • Kosten der Energiegewinnung und -verteilung • Besonderheiten des liberalisierten Strom-/Energie-marktes in Deutschland

### **Energiewirtschaft im Wandel - Auswirkungen der Liberalisierung**

(SS 12) 2 V, 1 Ü

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 12) 2 V, 1 Ü

(gemeinsam mit Prof. Henke und Prof. Meins)

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

### **Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure**

(WS 12/13) 2 V, 2 Ü

Grundlagen des elektrischen und magnetischen Feldes • Grundzüge der Gleich- und Wechselstromtechnik • Einführung in die Drehstromnetze und Erneuerbare Energien

### **Hochspannungstechnik I**

(WS 12/13) 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**

(SS 12) 2V, 1 Ü

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

---

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

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

### **Innovative Energiesysteme**

(SS 12) 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.

Systemdienstleistungen • Virtuelle Kraftwerke • Demand Side Management • Smart Metering • Elektromobilität

### **Managementmethoden für Ingenieure**

(WS 12/13) 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.

### **Numerische Berechnungsverfahren**

(WS 12/13) 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 12/13) 2 V, 1 Ü

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

### **Systemtechnik in der Photovoltaik**

(WS 12/13) 2 V, 1 Ü

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.

**Technologien der elektrischen Energienetze**

(SS 12) 2 V, 1 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen:

- Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung • Hochtemperatur-Supraleiter • Elektromobilität
- Smart Grid • Wechselrichter • Speicher im Netz

## 2.2 Studienseminare - Student Lectures

### WS 2011/12 – „Fukushima - Energiepolitische Entwicklungen nach einer Katastrophe“

Im WS 2011/12 trugen insgesamt neun Studenten mit ihren Vorträgen zur Diskussion um die Folgen von Fukushima bei. Die Präsentationen wurden am 16.02.2012 im elenia gehalten.

|                        |  |
|------------------------|--|
| Dirk Bösche            | Hochspannungsrechteckgenerator mit Kugelfunkenstrecken                       |
| Ole Marggraf           | Wie könnte die elektrische Ausstattung von Haushalten im Jahr 2050 aussehen? |
| Wissem Sghaier         | Kernfusion – Vergleich Tokamak und Stellarator                               |
| Birthe Remmers         | Herstellungsverfahren von Supraleitern                                       |
| Christoph Klosinski    | Wird es das Elektroauto geben?   |
| Marius Kluge           | HGÜ-Schalter: Bedarf und Hemmnisse   |
| Julian Berlinecke      | Fukushima – Energiepolitische Folgen   |
| Oueslati Mohamed Nizar | Lithium-Ionen-Batterie   |
| Harald Scherg-Kurmes   | Batterietypen – Trends und Entwicklung                                       |

### SS 2012 – „Technologien und Herausforderungen einer zukunftsfähigen Energieversorgung“

Das Studienseminar im SS 2012 fand am 06.09.2012 im Haus der Wissenschaft im Raum „Veolia“ statt. Zehn Studierende der Elektrotechnik präsentierten in einem angenehmen Rahmen ihre Themen den 22 Teilnehmern der Veranstaltung.

|                   |  |
|-------------------|--|
| Christian Tacke   | Die BMU Leitstudie 2011 – Ein Überblick  |
| Tobias Hill       | „Grüne“ Elektromobilität—Wer liefert den Strom und wie wird gemessen?                              |
| Christoph Lepper  | Chronologie der Systemdienstleistungen und Betriebsweisen dezentraler Erzeugungsanlagen            |
| Hendrik Kleemiß   | Datenschutzaspekte im Smart-Metering   |
| Mazlum Demir      | Überspannungsschutz dezentraler Erzeuger am Beispiel von Solarparks                                |
| Richard Düren     | Aktueller Stand von Offshore-Windkraftenergieanlagen (WEA)   |
| Olaf Zindel       | Einsatz von Vakuumleistungsschaltern in Hochspannungsnetzen >60kV                                  |
| Niklas Priess     | Die dritte Phase des EU Emissionshandels: Neue Herausforderungen für Energieerzeuger und Industrie |
| Maik Bertke       | Supraleitende Energiespeicher in der Energietechnik  |
| Simon Spelzhausen | Supraleitende Hochspannungs–Gleichstromübertragungskabel der Zukunft?                              |



**Abbildung 1** - Die Teilnehmer des Studienseminars SS 2012

**Figure 1** - Participants of the Studienseminar 2012

### 2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects

(Bearbeitungszeit 10 Wochen, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

|                   |   |
|-------------------|---|
| Henrik Stadtmann  | Modifikation des dynamischen Tropfentests für Gleichspannungsbelastung ( <i>Hilbert</i> )   |
| Hannes Wiedermann | Analyse der Direktvermarktung von EEG-Strom unter Berücksichtigung der Novelle 2012 zum Erneuerbaren Energien Gesetz ( <i>Dammasch</i> )                            |
| Nicholas Hill     | Untersuchung des Polaritätseffektes durch Gasblasen auf der Elektrodenoberfläche in flüssigem Stickstoff ( <i>Blaz</i> )  |
| Carola Schierding | Inbetriebnahme und Abstimmung der Messtechnik für Mikroentladungen ( <i>Hilbert</i> )   |
| Dennis Plagge     | Anpassung eines Simulationsmodells zur Netzberechnung dezentraler Erzeugungsanlagen gemäß BDEW - Mittelspannungsrichtlinie und der VDE-AR-N 4105 ( <i>Laudahn</i> ) |

Torben Rodemann      Darstellen von Aufgabenfeldern elektrischer Energiespeicher in der Energiewirtschaft und Analyse zukünftiger Vermarktungsansätze (*Gronstedt*)

## 2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

Marcus Engler              Simulation und Analyse des statistischen Regelleistungspotenzials eines Virtuellen Kraftwerks bestehend aus Blockheizkraftwerken (*Dammasch*)

Simon Ebenthal            Technisch-wirtschaftliche Beschreibung eines Transformationsprozesses für die Entwicklung eines bestehenden 110 kV Netzes zu einem definierten Zielnetz (*Dammasch*)

Birger Krah                Analyse und Optimierung von Feedbacksystemen zur Steigerung des Energiebewusstseins von Standardlastprofilkunden (*Dammasch*)

Hendrik Köpf              Entwicklung und Test von Schalt- und Schutzkonzepten für den Einsatz in automobilen Bordnetzen (*Schrank*)

Anna-Lena Menn          Optimierung eines Vakuumschalter Schirmdesigns zur Minimierung der Schaltkammerkeramikbedampfung durch Schalthandlungen (*Gramberg*)

Holger Kreißl              Technisch-wirtschaftliche Beschreibung eines Transformationsprozesses für die Entwicklung eines bestehenden 110 kV Netzes zu einem definierten Zielnetz (*Dammasch*)

Berend Müller             Analyse des Potenzials von dynamischen Produktionsstrategien für Mini-BHKW zur Unterstützung der Spannungshaltung im elektrischen Niederspannungsnetz (*Dammasch*)

Christian Hammer        Entwicklung von Business Cases für den ökonomischen Betrieb eines Virtuellen Kraftwerks und Ableitung von Geschäftsmodellen zur Teilnahme am deutschen Regelleistungsmarkt (*Dammasch*)

Nicole Erbsland            Anforderungen an die Schutztechnik des Verteilnetzes vor dem Hintergrund des Einflusses dezentraler Erzeuger (*Bunk*)

Sebastain Brandes        Potentialanalyse von Ladeinfrastruktur für Elektromobilität in Hildesheim (*Bunk*)

Tobias Kopp                Umbau und Inbetriebnahme einer Versuchseinrichtung zur technologischen Weiterentwicklung von Funkenstreckenableitern (*Schottel*)

Stefanie Koch             Analyse von Energieversorgungskonzepten zur Effizienzsteigerung des Campus der TU Braunschweig (*Munzel*)

Olaf Zindel                Optische Untersuchung des Lichtbogenverhaltens im engen Spalt bei Impulsbelastung (*Schottel*)

Julian Becker                      Qualitätssicherung in der Instandhaltung im Netzbetrieb eines Energieversorgungsunternehmens (*Bunk*)

## 2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

|                   |  |
|-------------------|--|
| Marius Kluge      | Elektromagnetische Simulationen und Messungen an einem Geräteschutzschalter unter Verwendung externer Permanentmagneten ( <i>Schrank/Rüther</i> )    |
| Sören Meyer       | Entwurf und Aufbau einer Treiberplatine für IGBT-Module unter Berücksichtigung der Energieversorgung über Lichtwellenleiter ( <i>Binder/Bünsow</i> ) |
| Benjamin Kühn     | Entwicklung und Aufbau einer Messeinrichtung für hochfrequente Ströme von Entladungen ( <i>Blaz</i> )  |
| David Jansen      | Entwicklung von Ersatzschaltbildern von Lithium-Ionen-Akkumulatoren durch Elektrochemische Impedanzspektroskopie ( <i>Kroker/Puzankov</i> )          |
| Christian Maiberg | Experimentelle Untersuchung der Lichtbogenlöschung mittels Löschblechen und poröser Materialien ( <i>Schrank/Rüther</i> )                            |
| Timo Kahl         | Darstellung und Analyse der spezifischen Herausforderungen erneuerbarer Energieumwandlung mit anschließendem Fallbeispiel ( <i>Gronstedt</i> )       |
| Ricardo Bordale   | Potentialanalyse einer zukünftig flexibilisierten Verbrauchsseite zur weiteren Integration der Erneuerbaren Energieversorgung ( <i>Gronstedt</i> )   |
| Johannes Iken     | Prognose vorhandener Vermarktungsfelder elektrischer Energieanlagen im Hinblick auf deren variable Kombination ( <i>Gronstedt</i> )                  |
| Andreas Ulrich    | Untersuchung vorhandener Energiespeicherkapazitäten für die Energiewirtschaft auf Verteilnetzebene ( <i>Gronstedt</i> )                              |
| Stefan Kalytta    | Analyse der wesentlichen Herausforderung erneuerbarer Energiebereitstellung – Der Prognosegüte ( <i>Gronstedt</i> )                                  |
| Lorenz Soleymani  | Entwicklung einer Simulationsumgebung für ein Hochvolt-Bordnetz in der Elektromobilität ( <i>Hilbert</i> )   |
| Steffen Aust      | Modellieren moderner Betriebsmittel zur dezentralen Energieerzeugung mit dem Netzberechnungsprogramm PowerFactory ( <i>Laudahn</i> )                 |

|                     |   |
|---------------------|---|
| Sven Warkenthin     | Ableitung einer qualitativen Zubau- und Einspeiseprognose für den Zuwachs an biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken für das Netzgebiet der E.ON Avacon AG unter Berücksichtigung der EEG-Novelle 2012 ( <i>Dammasch</i> ) |
| Julian Berlinecke   | Entwurf eines Hybridschalters zum Schalten von Gleichströmen im Kiloamperebereich ( <i>Binder</i> )   |
| Henrik Kleemiß      | Prognose der zukünftigen Netzaufgabe im Kontext des e-home Energieprojektes 2020 ( <i>Bunk</i> )  |
| Marvin Nebelsiek    | Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Lichtbogen und ausgewählten Materialien in einer Spaltanordnung mit Stoßstrombelastung bei unterschiedlicher Spaltgeometrie ( <i>Schottel</i> )                                  |
| Stefan Nemeyer      | Untersuchung der Wechselwirkung von Lichtbogen und Wandmaterial bei besonderer Betrachtung der elektrischen Feldstärke ( <i>Schottel</i> )  |
| Florian Rewald      | Theoretische Betrachtung der Wechselwirkung von Lichtbogen und Wandmaterial in einer Spaltanordnung ( <i>Schottel/Riß</i> )   |
| Simon Spelzhausen   | Optimierung der Energieversorgung innerhalb einer Produktionshalle des Volkswagen Konzerns ( <i>Wilkening</i> )   |
| David Rakidzija     | Untersuchung zur Stromdichteverteilung im engen Spalt bei Impulsbelastung ( <i>Schottel</i> )   |
| Cornelia Beyer      | Bewertung von Plug-In-Hybridfahrzeugen als Energiequelle-/Senke im Energieverteilnetz ( <i>Bellin</i> )   |
| Zayed Alnasary      | Erarbeitung eines Ansatzes zum Einsatz eines elektrischen Energiespeichers über verschiedene Vermarktungskanäle ( <i>Gronstedt</i> )  |
| Simon Becker        | Ableitung von Szenarien für die zukünftige Energieversorgung mit besonderen Fokus auf den Elektrizitätsmarkt ( <i>Gronstedt</i> )   |
| Philip Ascan Clasen | Erarbeitung eines Modellierungstools zur Netzberechnung aktiver Verteilnetzen ( <i>Gronstedt</i> )  |
| Tobias Götze        | Erarbeitung einer Stakeholderanalyse für die Energiewirtschaft mit ausgewähltem Fallbeispiel ( <i>Gronstedt</i> )   |

## 2.6 Masterarbeiten - Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

|                |  |
|----------------|--|
| Uwe Westerhoff | Modellierung von Li-Ion-Batteriezellen mit dem Ziel der Integration in ein Energieversorgungssystem ( <i>Haupt</i> )                   |
| Salem Maamer   | Konzeption eines Prüfstandes für dezentrale Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz bezüglich ihres Netzverhaltens ( <i>Laudahn</i> ) |

|                  |   |
|------------------|---|
| Stephan Lepper   | Technische Analyse und Simulation von VSC-Hochspannungsgleichstromsystemen zur Fehlerbetrachtung in Gleich- und Wechselstromnetzen ( <i>Binder</i> )            |
| Martin Kunst     | Anforderungen an intelligente Ortsnetzstationen ( <i>Puzankov</i> )   |
| René Kohli       | Untersuchung des Einflusses von EEG Erzeugern beim Kurzschlussfall im Mittelspannungsnetz und dessen Auswirkung auf das Niederspannungsnetz ( <i>Schottel</i> ) |
| Jan Mummel       | Entwurf einer gläsernen Ladesäule ( <i>Funck</i> )  |
| Hannes Homeyer   | Spannungshaltung in Verteilnetzen durch blindleistungsgeregelte dezentrale Erzeugungsanlagen ( <i>Bunk</i> )  |
| Christoph Lepper | Erarbeiten von Aufgabenfeldern elektrochemischer Energiespeicher in Verteilungsnetzen mit Analyse zukünftiger Betriebsstrategien ( <i>Gronstedt</i> )           |



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

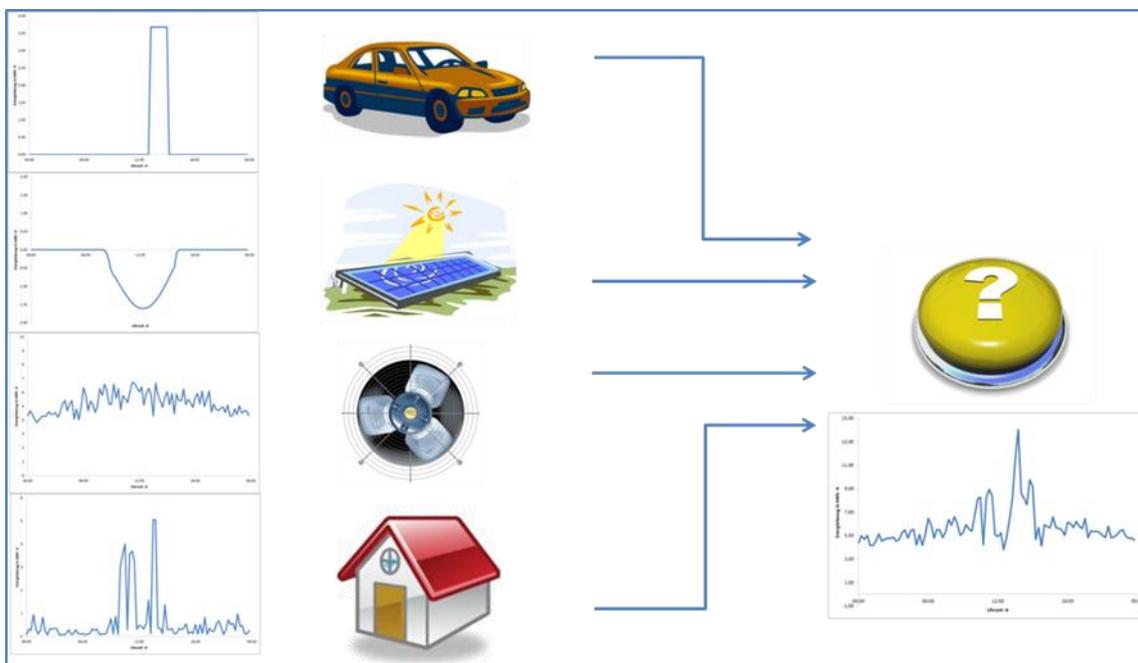
#### 3.1 Arbeitsgruppe Energiesysteme - Working Group Energy Systems

##### 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 effizienter Bewältigung zu bestimmen. Dazu wurden zu Beginn des Jahres 2011 in zwei ca. 400 Haushalten umfassenden Ortschaften 32 Haushalte mit Photovoltaikanlagen, Klimageräten und Elektroautos ausgestattet.

In ersten Untersuchungen am elenia wurden projektbegleitend theoretische Modelle zur Nachbildung von Jahresprofilen entwickelt (**Abbildung 2**) die derzeit an den realen, im Feld generierten Messwerten validiert werden.



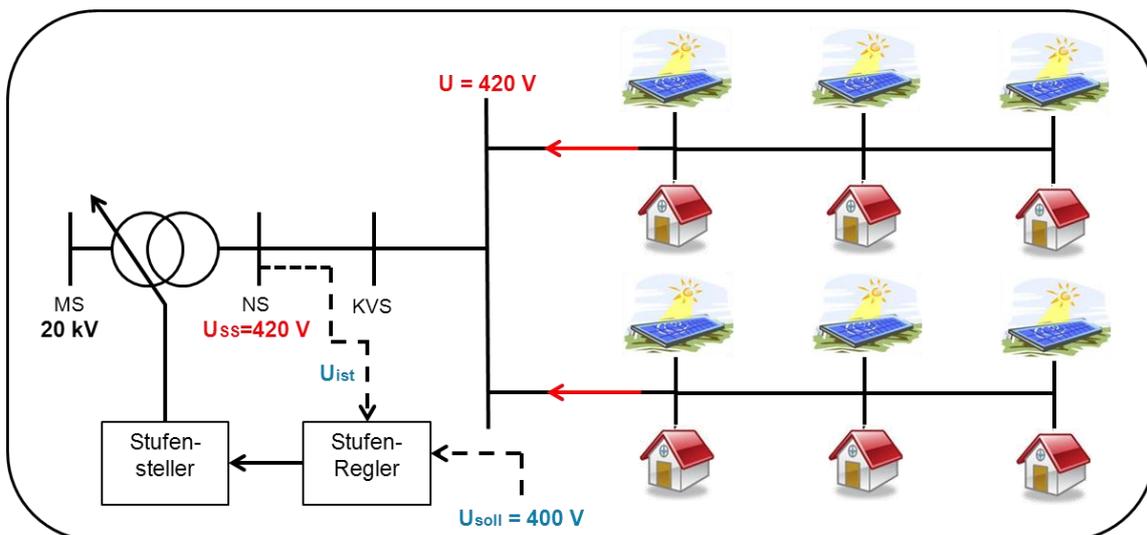
**Abbildung 2** - Zeitreihen der Komponenten

**Figure 2** - Time series of the elements

Bis zum heutigen Tage findet die Planung von Niederspannungsverteilnetzen in der Regel auf Basis von (empirischen) Belastungsannahmen statt. Durch die Betrachtung von sogenannten

Worst-Case-Szenarien sind die heutigen Netzstrukturen mit den entsprechenden Reserven in den vergangenen Jahrzehnten entstanden. In dem sich wandelnden Umfeld der Niederspannungsnetzbelastung sowie zusätzlicher Einspeisung durch dezentrale Erzeugungsanlagen ist eine Verletzung von Grenzwerten, insbesondere des zulässigen Spannungsbandes, möglich.

Der Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators ermöglicht die Einhaltung von Spannungsgrenzen im Niederspannungsnetz durch gezielte Ansteuerung des Stufenschalters (**Abbildung 3**). Dadurch ist es unter anderem möglich, die Aufnahmekapazität von dezentralen Erzeugern des Niederspannungsnetzes nachhaltig zu steigern.



**Abbildung 3** - Einhaltung von Spannungsgrenzen über den regelbaren Ortsnetztransformator

**Figure 3** - Voltage limits and variable Transformer

### Transformation of the electricity network

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

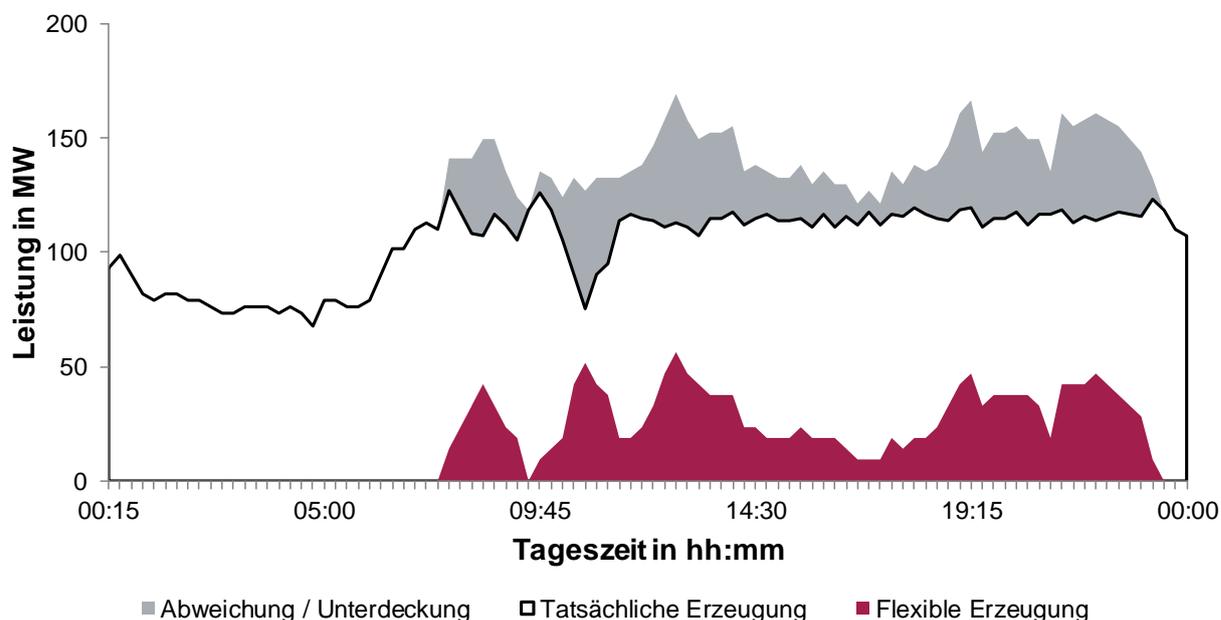
Currently, the future needs of the electricity networks were examined in a project with E.ON Avacon AG in cooperation with EFZN. As part of the project, 32 households were equipped with photovoltaic systems, electric cars, air conditioners and smart meters. At the local transformer station, a variable 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.

## Beitrag Virtueller Kraftwerke zum Bilanzkreisausgleich und Integration von regenerativen Energien

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

Der stetige Ausbau der Erneuerbaren Energien, mit teils fluktuierendem elektrischen Erzeugungscharakter, führt auf Seiten der Bilanzkreisverantwortlichen zu einer Zunahme der Prognoseunsicherheiten in Bezug auf den zu meldenden Fahrplan. Verbunden mit erhöhten Prognoseunsicherheiten und den daraus resultierenden Abweichungen steigen zudem die Kosten für den nachträglichen Ausgleich des Bilanzkreises (Day-After-Handel, Ausgleichsenergie).

Die unter diesem Thema angesiedelten Forschungsfragen befassen sich mit dem gezielten Einsatz flexibler Energieerzeugungsanlagen für den unmittelbaren Ausgleich der Bilanzkreisabweichungen. Es wird hierbei untersucht in welchem Maße und in welcher Qualität die Abweichungen kurzfristig durch ein Virtuelles Kraftwerk, bestehend aus dezentralen Blockheizkraftwerken, verringert oder vermieden werden können und wie sich diese Effekte monetär bewerten lassen. Durch diesen Ansatz wird ein System entwickelt, welches die weitere Integration der Erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung von ökonomischen sowie volkswirtschaftlichen Aspekten unterstützt.

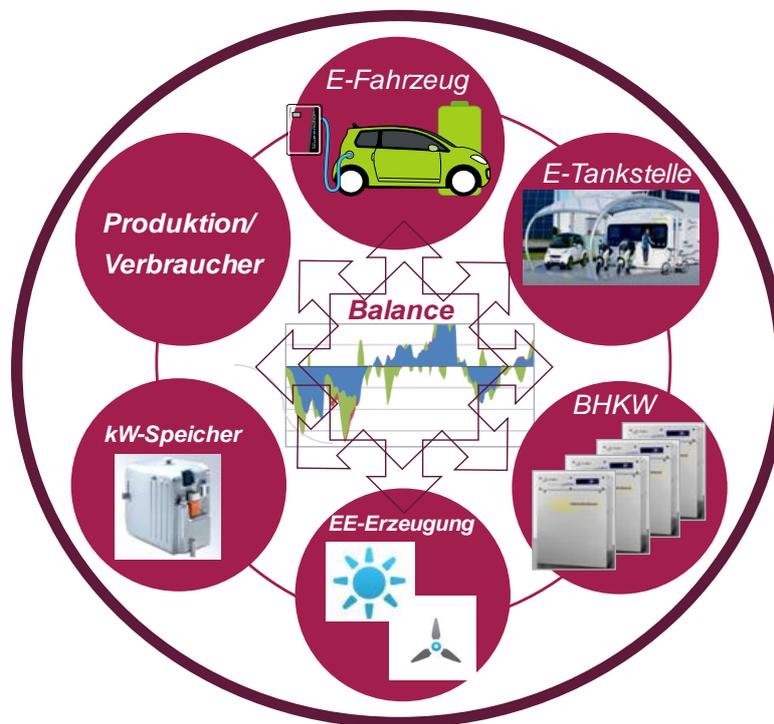


**Abbildung 4** - Bilanzkreisausregelung durch flexible Blockheizkraftwerke

**Figure 4** - Using flexible CHP-units for regulating the balancing group

Im Rahmen der Forschungsarbeit wird eine computergestützte Simulation eines Bilanzkreises aufgebaut. Dieses Simulationsmodell wird frei skalierbar sein, damit unterschiedliche Bilanzkreise dargestellt werden können. Mittels Prognoseverfahren erfolgt, in Anlehnung an das reale Bilanzkreismanagement, ebenfalls eine Fahrplangenerierung für den Folgetag. Aufgrund

der Tatsache, dass das Dargebot von elektrischer Leistung aus regenerativen Energien mit Unsicherheiten bezgl. einer Day-Ahead-Prognose behaftet ist, stellen sich Bilanzkreisabweichungen vom gemeldeten Fahrplan ein.



**Abbildung 5** - Teilnehmer einer Bilanzkreissimulation

**Figure 5** - Participants of a virtual balancing group

### **Virtual power plants for regulating the balancing group and integration of renewable energy sources**

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

The main questions in this research topic are dealing with the selective use of flexible power plants for balancing the balancing group deviations. Here, it is investigated to what extent the differences can be reduced or avoided by a virtual power plant and how these effects can be expressed in monetary values. Through this approach, a system is developed to support the further integration of renewable energy sources in the light of economic and macro-economic aspects.

## **Effiziente Verbrauchereinbindung durch Smart Metering**

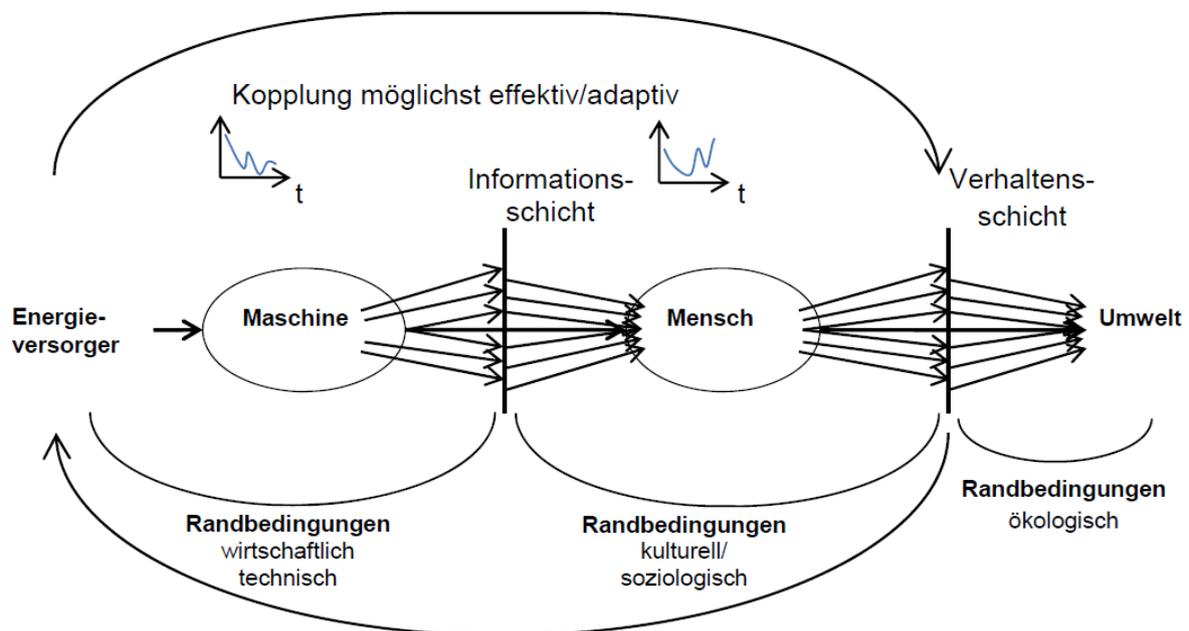
*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Funck*

Der massive Ausbau von lastnahen, fluktuierenden Erzeugern wie Windkraftanlagen, Photovoltaik, Blockheizkraftwerken, Biomasseanlagen und zukünftig auch Brennstoffzellen aber auch Anlagen zur reinen Wärmeversorgung wie Geo- und Solarthermie sowie die geplante Zunahme von Elektrofahrzeugen hat einen Wandel der bisherigen Energieversorgungsstruktur zur Folge. Die klassische Erzeugung aus fossilen Energieträgern folgt dem durch die Verbraucher vorgegebenen Bedarf. Die zeitlich verfügbaren dezentralen Erzeugungskapazitäten werden von den Verbrauchern nicht berücksichtigt. An einem windarmen Tag wird nicht der Verbrauch reduziert, sondern auf fossile Energieträger zurückgegriffen. Zur Erreichung des politischen Ziels, CO<sub>2</sub> einzusparen und den Anteil an konventionellen Kraftwerken zu reduzieren muss der Anteil der Energie, der aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird, erhöht werden. Damit verbunden ist ein Paradigmenwechsel weg von der verbrauchsgeführten Erzeugung hin zu einem erzeugungsgeführten Verbrauch. Dabei wird der Verbraucher als aktives Element der Energieversorgung betrachtet und sein Verbrauchsverhalten wird unter bestimmten Bedingungen an die Erzeugungskapazität angepasst. Insbesondere Haushaltskunden, die einen nicht unerheblichen Anteil von knapp 30 % am elektrischen Endenergieverbrauch haben und ihre Energienutzung meist auf die Erhöhung des persönlichen Komforts ausrichten, müssen vor dem Hintergrund ihres elektrischen Verbrauchs näher betrachtet werden.

Um einen erzeugungsgeführten Verbrauch zu ermöglichen, wird die Schnittstelle zwischen dem vom Energieversorger bereitgestellten Energieversorgungssystem (Maschine) und dem Menschen besonders relevant. Die Gesamtheit der vom Energieversorgungssystem präsentierten Informationen (z. B. Verbrauchsinformationen, Tarifinformationen usw.) kann als Informationsschicht bezeichnet werden. Sie umfasst Maßnahmen, die ergriffen werden können, um ein bestimmtes Verhalten beim Kunden zu erreichen. Zu diesen Maßnahmen zählen beispielsweise das Schaffen von Anreizen, die Einführung neuer Tarifsysteme, die Entwicklung eines In-Home-Displays und ähnliches. Die Effekte dieser Maßnahmen auf der Informationsschicht werden im energieverbrauchsrelevanten Verhalten, das hier zusammenfassend als Verhaltensschicht bezeichnet wird, sichtbar (z. B. in einer reduzierten Häufigkeit der Nutzung elektrischer Geräte).

Die Zusammenhänge zwischen dem Menschen (als Verbraucher) und dem Energieversorgungssystem als Maschine werden von Randbedingungen verschiedener Art beeinflusst. Randbedingungen technischer und wirtschaftlicher Art werden insbesondere im Zusammenwirken von Energieversorger, Maschine und der Informationsschicht relevant. Die soziologisch-gesellschaftlichen Randbedingungen stellen die soziale Klammer bezüglich Informationsschicht, Mensch und Verhaltensschicht dar. Ökologische Randbedingungen beeinflussen

vor allem die Effekte der Verhaltensschicht auf die Umwelt. **Abbildung 6** stellt diese Zusammenhänge schematisch dar.



**Abbildung 6** - Modell des Gesamtsystems der Energieversorgung

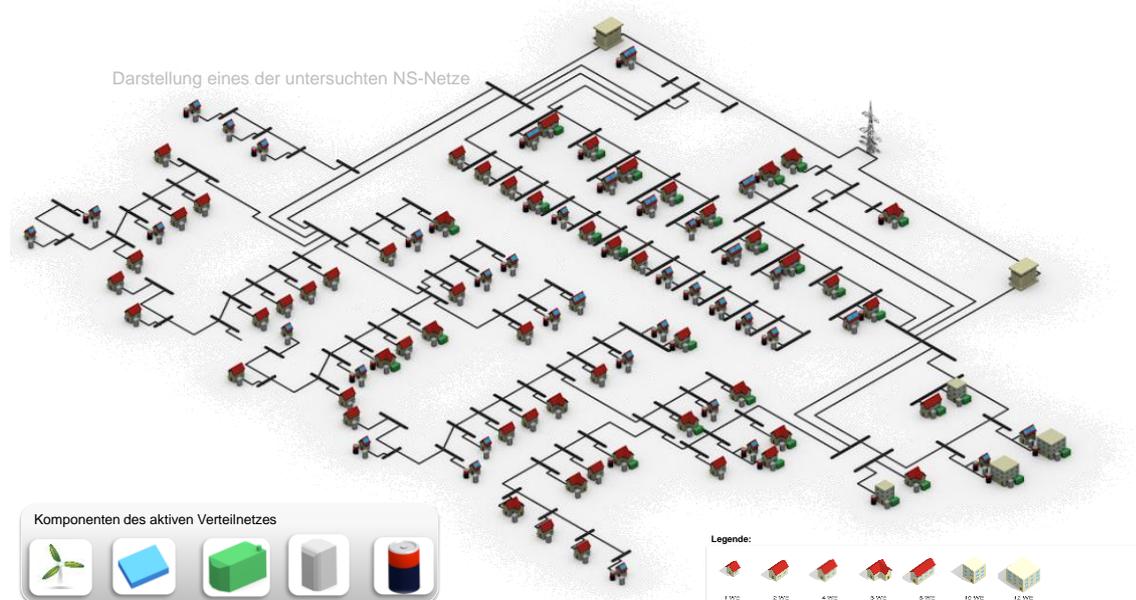
**Figure 6** - Model of the complete system of the energy supply

Die zentrale Aufgabe, will man über eine Verhaltensänderung den Verbrauch beeinflussen, ist die Charakterisierung der Informationsschicht, die unterschiedliche Realisierungen aufweisen kann (z. B. ein Webportal, schriftliche Informationen über Tarifkonditionen, ein Smart Meter, ein Display zur Darstellung relevanter Verbrauchsinformationen). Ziel des Forschungsvorhabens ist es deshalb, ein verhaltenswissenschaftlich begründetes Konzept für eine Informationsschicht zu entwickeln, mit der eine intensivere Nutzung lokaler dezentraler Erzeuger, eine Verbrauchsreduktion und eine optimale Netzauslastung durch entsprechende Erzeugung von Effekten auf der Verhaltensschicht der Verbraucher möglich wird. Im Speziellen wollen wir uns primär mit der Entwicklung eines effektiven Anzeigeprinzips für ein In-Home-Display (die hier betrachtete konkrete Mensch-Maschine-Schnittstelle, MMS) beschäftigen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die technischen ebenso wie die gesellschaftlichen Randbedingungen einbezogen werden.

## Zeitgleiche Nutzung verschiedener Absatzkanäle für eine effiziente Vermarktung von DEA im aktiven Verteilnetz

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

Mit dem Aufbau einer Simulationsebene für ein umfassendes Verteilnetz der Zukunft und der Entwicklung eines zentralen Fahrplanmanagements zur netzorientierten Betriebsweise wurde mit den Arbeiten des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen (FEN) die Basis für weitere Untersuchungen in Bezug auf Betriebs- und Einsatzstrategien geschaffen. Dieser Beitrag fokussiert den Ansatz der zeitgleichen Erschließung einer Vielzahl von Absatzwegen bei der Vermarktung dezentraler Energieanlagen (DEA) zur effizienten Vermarktung zentral gesteuerten Komponenten im aktiven Verteilnetz. Damit setzt sich dieser Forschungsbeitrag vom aktuellen Forschungsstand ab, da nicht nur eine Netzanalyse mit einem zentralen Fahrplanmanagement in Kombination gebracht wird, sondern diese um eine intelligente Schnittstelle zu den Strommärkten erweitert wird.



**Abbildung 7 - Stromnetz**  
**Figure 7 - Distribution grid**

Die Einsatzmöglichkeiten bspw. von elektrischen Energiespeichern im Stromnetz sind weitreichend. Die Einsatzfelder elektrischer Energiespeicherung können nahezu ausnahmslos als Betriebsweisen für ein aktives Verteilnetz übertragen werden. Grundsätzlich bieten die einzelnen Vermarktungsfelder die Chance der zeitgleichen Nutzung einer Vielzahl von Absatzwegen zur Steigerung der Effektivität und somit auch Effizienz bei der zukünftigen Positionierung von dezentralen Energieanlagen am Markt. Dennoch ist weiterhin die zeitgleiche

Kombination der Vermarktungswege mit technischen als auch regulatorischen Restriktionen verbunden, die im weiteren Verlauf der Untersuchungen herausgearbeitet werden sollen. Beispielsweise setzen Netzbetreiber Komponenten alleinig für die netztechnische Nutzung in ihrem Netz ein, dürfen diese aber aufgrund des Unbundlings nicht marktwirtschaftlich oder in Kombination mit anderen Akteuren nutzen. Eine weitere regulatorische Restriktion für die Angebotsseite stellt das Doppelvermarktungsverbot dar. Technische Herausforderungen sind hingegen insb. im Energiemanagement sowie in der informatorischen Umsetzung einer Mehrfachvermarktung zu erwarten.

Ein aktives Energiemanagement bedingt den uneingeschränkten Zugang sowohl zu Prognosefunktionen für die volatilen Energiemärkte als auch der fluktuierenden Bereitstellung dezentraler Energieanlagen. Dabei ist der angedachte Zeitraum für die Vermarktung einer gewählten bzw. einer zu wählenden Einsatzstrategie das entscheidende Kriterium. Die Weite der Kombinationsmöglichkeiten von Absatzwegen ändert sich grundlegend betrachtet man die zeitliche Dimension. Ein Vermarktungszeitraum von einem Tag bietet wesentlich geringeres Potential zur Kombination, da viele Vermarktungsformen der zeitlichen Flexibilität einer tages-scharfen Vermarktung nicht nachkommen können. Im Gegenzug liegt für eine day-ahead Vermarktung eine Prognose für die Energiebereitstellung in einer wesentlich besseren Güte vor, als sich dies beispielweise für eine monatliche Vermarktungsstrategie einstellen kann. Folglich bedingt der Ansatz der Mehrfachvermarktung einen zeitlichen Freiheitsgrad, um dynamisch auf technische und marktwirtschaftliche Randbedingungen reagieren zu können.

Eine umfassende Verzahnung der zuvor erwähnten Simulationsebenen des aktiven Verteilnetzes mit Prognosemodellierungen über einen Algorithmus zur flexiblen Vermarktung eines zentral koordinierten Anlagenverbundes wird im Detail die erlösseitigen Potentiale dieses innovativen Vermarktungsansatzes aufzeigen und gleichzeitige Empfehlungen an den zukünftig geltenden regulatorischen Rahmen geben können.

Bereits bei den heutigen Marktbedingungen wesentliche Anreize zur Umsetzung und Implementierung, wobei dieser Ansatz insb. auf eine mittel-/langfristige Perspektive im Zuge einer degressiven Entwicklung der Förderung dezentraler Energieanlagen abgezielt.

Mit den Untersuchungen zur Mehrfachvermarktung wird der Ansatz der netzorientierten Betriebsweise nun konsequent weitergeführt, um langfristig auch aus marktwirtschaftlichen Aspekten den weiteren Ausbau erneuerbarer Energieumwandlung zu rechtfertigen.

### **Grid-integration of distributed and renewable energy resources by using a virtual power plant approach with a multi-purpose strategy**

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

The aim of current research is to analyse the effects of a high shares of DER on a low voltage network and to compare different options of supporting their integration. The elaborated options are a schedule management of micro CHP units with regard to the thermal storage capability, management of end-user loads and usage of electrical energy storage (EES) systems. By shifting or balancing power consumption load peaks can be dampened effectively and the overall load fluctuation can be reduced. In this manner the future feasibility for large scale integration of renewable energy resources will be improved. By completing a two year field test for Braunschweig's housing sector in 2012, the technological feasibility of the virtual power plant concept was evaluated successfully.

The study at hand enhances its scope by modelling an innovative market approach for DER in the low and medium voltage grids. These aspects are implemented in a portfolio approach for active distribution networks to act efficiently on the future energy markets. This idea has parallels to the acknowledged portfolio approach from the finance sector. The portfolio mechanism allows each DER to operate in a multitude of tasks over a period of time as well as at the same moment. This multipurpose operation mode can limit risks and increase revenues of each single DER.

### **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.

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

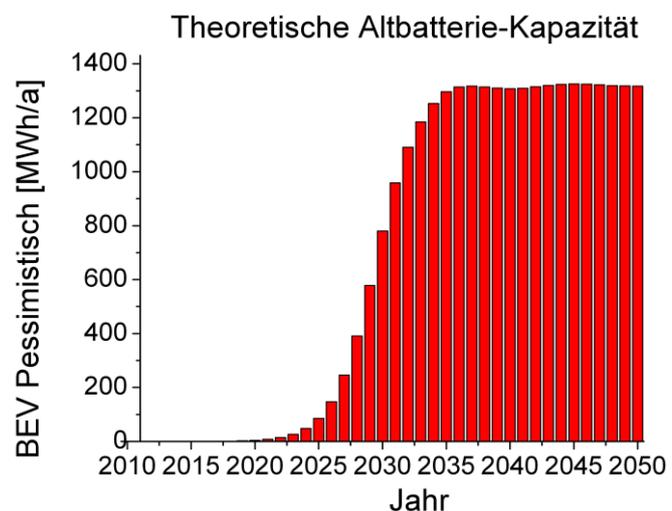
**Tabelle 1** - Kenngrößen unterschiedlicher Batteriesysteme

**Table 1** - Characteristics of different battery systems

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.

Unter diesen Voraussetzungen wurde die szenarienbasierte Abschätzung der rücklaufenden Altbatterien des Kooperationspartners AIP in die jährlich verfügbare Kapazität an Altbatterien umgerechnet. **Abbildung 8** 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.

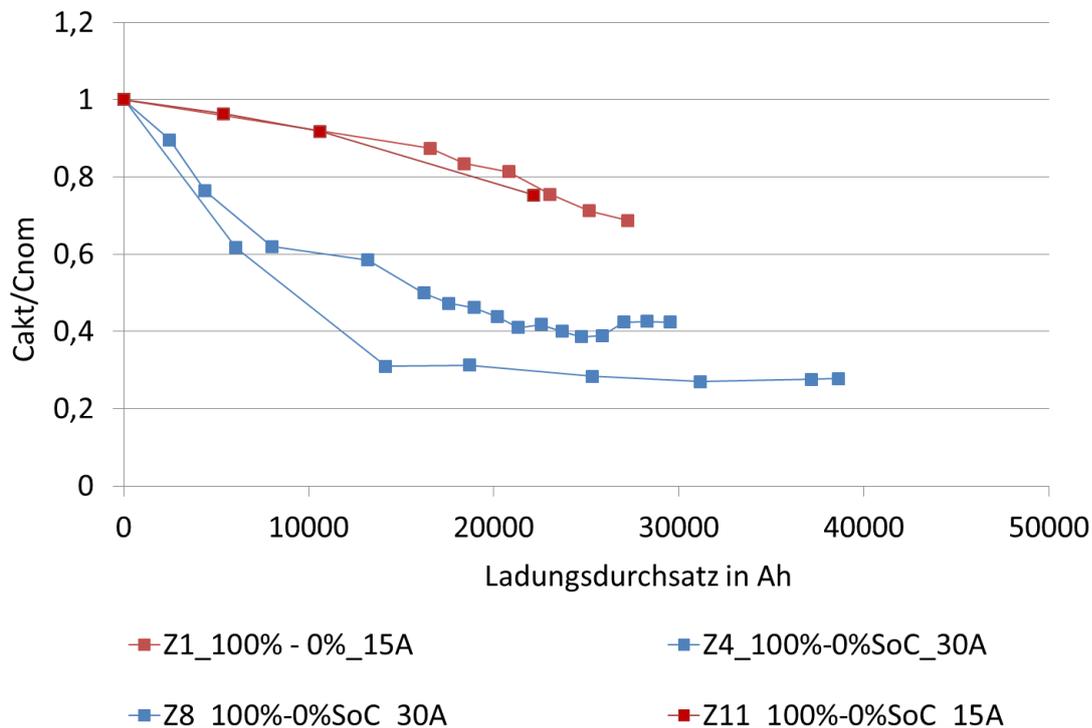
Zusätzlich zu dem ungewissen Zustand der rücklaufenden Batteriesysteme stellt die Kenntnis des zukünftigen Verhaltens der Batterien eine große Herausforderung dar. Aus diesem Grund werden Untersuchungen an genutzten Batteriezellen begonnen. Dazu wurden einzelne Zellen aus gebrauchten Batteriesystemen einem Testzyklus unterzogen, der einer sta-



**Abbildung 8** - Theoretische Altbatterie-Kapazität

**Figure 8** - Theoretical return of batteries

tionären Belastung entspricht. **Abbildung 9** zeigt den Verlauf des Verhältnisses der nutzbaren Kapazität zu nomineller Kapazität der getesteten Zellen bei einer Belastung mit unterschiedlichen Stromstärken.



**Abbildung 9** - Verlauf der nutzbaren Kapazität in Abhängigkeit des Ladungsdurchsatzes

**Figure 9** - Characteristic of the usable capacity as a function of the throughput

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.

### 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 > 100 km 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.

Under these assumptions the project partner AIP has estimated the amount of returning batteries for 3 scenarios. **Figure 8** 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 behaviour of End-of-Life batteries, a characterization and ageing of experimental cells has been started. 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. **Figure 9** shows the degradation of cell capacity over the lifetime energy throughput. 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.

### **Aufbau des Netzintegrationslabors**

*Stefan Laudahn, M. Sc.*

Bei den dezentralen Erzeugungsanlagen wird weiterhin ein starker Anstieg bei Anzahl, installierter Leistung und eingespeister Energie verzeichnet. Ein Ende dieser Entwicklung ist, auch unter Berücksichtigung der Ausbauziele der Bundesregierung, vorerst nicht in Sicht. Insbesondere in den Niederspannungsnetzen führt der starke Ausbau der Photovoltaik zu teilweise erheblich Problemen in Bezug auf die Netzverträglichkeit. Um einen weiteren Ausbau technisch oder wirtschaftlich nicht zu gefährden ist eine weitere Entwicklung in Bezug auf die Netzintegration und die Beteiligung auch kleinerer Anlagen an Systemdienstleistungen notwendig. Das elenia wird sich an dieser Entwicklung beteiligen. Zu diesem Zweck wurde der Aufbau des Netzintegrationslabors beschlossen.

Durch einen leistungsstarken programmierbaren Netzsimulator wird die Möglichkeit geschaffen, kritische Netzsituationen nachzubilden, das Verhalten von Erzeugungsanlagen messtechnisch zu erfassen und diese auch entsprechend zu konditionieren. Wechselwirkungen zwischen Erzeugungsanlagen verschiedenen Typs und unterschiedlich parametrierter Regelungen werden durch die Nachbildung von bis zu drei Netzanschlusspunkten berücksichtigt, die durch einstellbare Leitungsnachbildungen getrennt sind. Zur Versorgung von Photovoltaikwechselrichtern, die den größten Anteil an der Erzeugungsleistung im Niederspannungsnetz

haben, sind drei DC Quellen vorhanden, die die Nachbildung einer nahezu beliebigen U/I-Kennlinie eines PV-Moduls simulieren können.



**Abbildung 10** - Laborarbeitsplatz

**Figure 10** - Work station

Mit einem hochgenauen Vielkanal-Messsystem können alle Ströme und Spannungen in dem simulierten Netz erfasst und ausgewertet werden. Es sind ebenso Langzeitmessungen wie auch kurzfristige Ereignisse detailliert und mit hoher Auflösung darstellbar.

Der Laborarbeitsplatz ist in **Abbildung 10** dargestellt.

Im Fokus der Untersuchungen stehen neben Systemdienstleistungen wie Spannungshaltung und Frequenzregelung auch Untersuchungen über das Fehlverhalten (Fault-Ride Through) und speziellen Netzsituationen wie die Inselnetzbildung. Der Schemaplan des Labors ist in **Abbildung 11** dargestellt.

Die vollständige Inbetriebnahme des Labors ist für Anfang 2013 geplant. Ein eingeschränkter Testbetrieb ist bereits möglich.

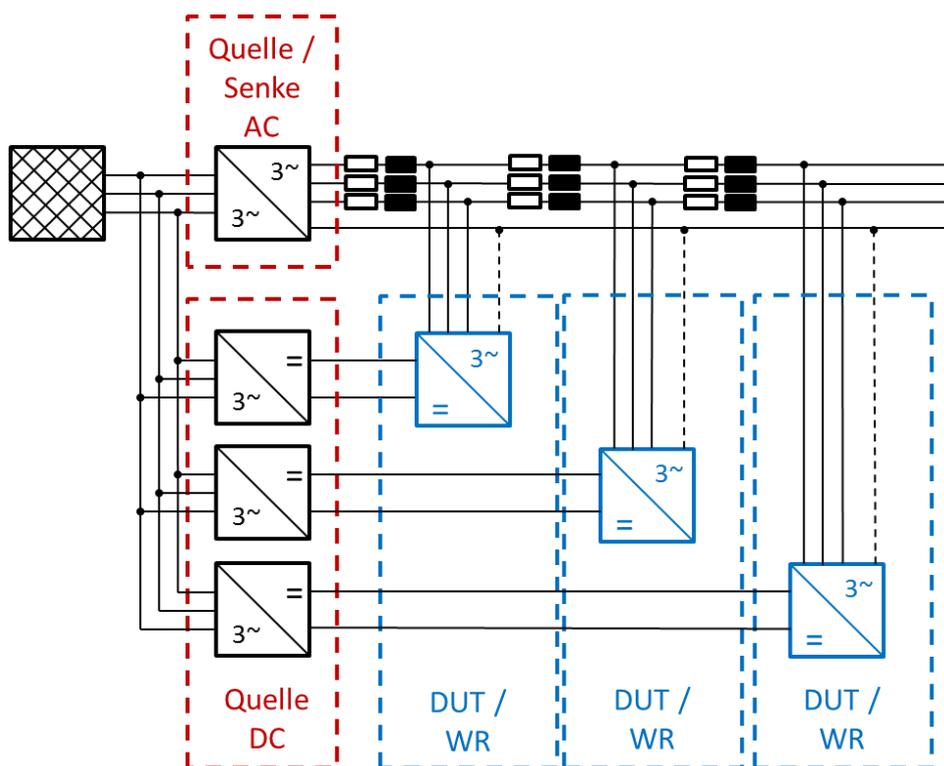


Abbildung 11 - Schema des elenia Netzintegrationslabors

Figure 11 - Diagram of the trial site

## Primove – Anwendung induktiver Energieübertragung im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)

*Dipl.-Ing. (FH) Frank Soyck*

Im Rahmen eines gemeinsamen Projekts entwickeln die Braunschweiger Verkehrs-AG, BS|Energy, Bombardier, das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia, das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (IVA) sowie das Institut für elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen (IMAB) der Technischen Universität Braunschweig das neue Feld der induktiven Energieübertragung für die Nutzung von Bussen im ÖPNV weiter.

Dazu wird die Busmetrolinie M 19 mit mehreren Elektrobussen und Ladestationen (Haltepunkte mit Induktionsplatte) ausgestattet. Die beiden Ringlinien M 19 und M 29 sind Metrolinien des Braunschweiger Busnetzes und befördern täglich im Schnitt ca. 11.000 Fahrgäste. Durch den Einsatz auf den besonders stark frequentierten Ringlinien ist eine außerordentliche Wahrnehmung in der Braunschweiger Öffentlichkeit gewährleistet. Einige tausend Fahrgäste können die Elektromobilität der Busse so tagtäglich hautnah erleben.



Neben dem elenia beteiligen sich zwei weitere Institute der TU an diesem Projekt.

Das Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen (IMAB) entwickelt Tools zur bedarfsgerechten Auslegung der Induktiv-Lade-Komponenten und erarbeitet Konstruktionsmerkmale für kostengünstige Fertigungstechnik. Außerdem führt das IMAB Messungen zur Verifikation und zur Ermittlung von Verbesserungspotentialen durch.

Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (IVA) untersucht die Eingliederung induktiv gespeister Elektrobusse in den ÖPNV und den Straßenverkehr. Dazu gehört die Untersuchung von Verkehrsszenarien, um eine optimale Auslegung des ÖPNV-Betriebs zu ermöglichen. Zudem wird die Eingliederung der Ladepunkte und -prozesse in die bestehende Verkehrsinformations- und Kommunikationsinfrastruktur untersucht.

### **Application of inductive energy transfer in local public transport**

*Dipl.-Ing. (FH) Frank Soyck*

The Braunschweiger Verkehrs-AG, BS| Energy, Bombardier and three departments of TU Braunschweig (elenia, IVA and IMAB) work together in the new field of inductive energy transfer for buses in public transport. The bus route M 19 is equipped with several electric buses and charging stations (stops with induction loops). elenia investigates concepts and technical solutions for the optimum grid connection, energy measurement and performs EMC measurements.

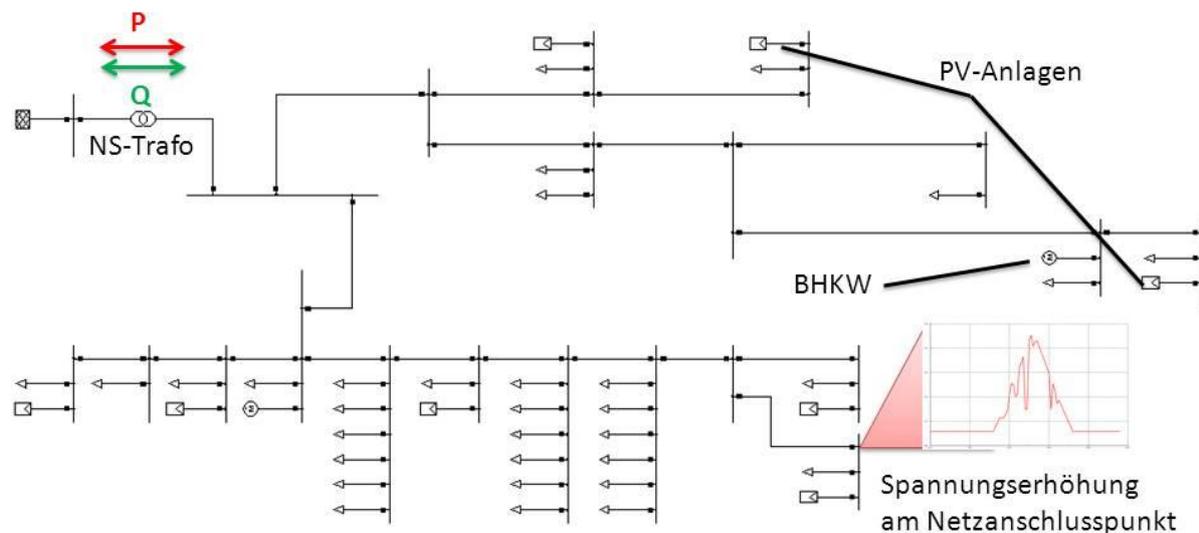
### **Zukünftige Aufgaben von Verteilungsnetzen**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

Der anhaltende Ausbau der dezentralen Energieversorgung ändert auch die Aufgaben der Verteilungsnetze. Ein Großteil der in den Netzen verbrauchten Energie wird inzwischen in den Netzen selbst erzeugt. Zur Mittagsspitze kann sogar eine Rückspeisung aus den Nieder- in die Mittelspannungsnetze, und von dort in die Hochspannungsebene erfolgen. Dafür sind die vorhandenen Netze nicht entworfen worden. Die Folge sind somit zunehmende Spannungsbandverletzungen und kritische Auslastungen der Betriebsmittel.

Die aktuelle Forschungsarbeit setzt an diesem Punkt an. Mit der Netzberechnungssoftware PowerFactory von DigSILENT werden Nieder- und Mittelspannungsnetze simuliert. Die Wechselrichter der Photovoltaikanlagen können über induktive oder kapazitive Blindleistung die Spannung am Netzanschlusspunkt beeinflussen. Mit der Simulation einer großen Anzahl

von Anlagen kann die Blindleistungsbilanz der Verteilungsnetze bei zukünftigen Durchdringungsgraden dezentraler Erzeugung berechnet werden.



**Abbildung 13** - Aufbau eines Niederspannungsnetzes

**Figure 13** - Structure of a low voltage grid

Die Auslastung der Betriebsmittel kann über einen Zubau von Energiespeichern minimiert werden. Aktuell spielen Energiespeicher noch keine Rolle in den Verteilungsnetzen. Ein zunehmender Eigenverbrauch von selbst erzeugtem Strom aus Photovoltaikanlagen wird jedoch zukünftig zu einer vermehrten Speicherdurchdringung führen. Es ist bereits heute entscheidend, den Einfluss der Speicher auf die Verteilungsnetze abzuschätzen. Nur so kann ein unnötiger und somit teurer Netzausbau vermieden werden.

### Future function of distribution grids

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

The ongoing expansion of renewable energies, driven by the German Renewable Energy Law, leads to a higher penetration of photovoltaics and small generators in the distribution grids. This causes a remarkable transformation of the usage of the power grids. Especially about noon lower voltage grids inject active power into the transmission grid. The results are more and more often overvoltages and congestion, respectively. The current inquiry aims to determine, how distributed generation affects the function of the distribution grids. Therefore a low voltage grid was simulated in the commercial network calculation software PowerFactory by DigSILENT (as depicted in **Figure 13**). A multitude of photovoltaics can be simulated simultaneously and thus one can see how the active and reactive power flow at the transformer changes in the course of time.

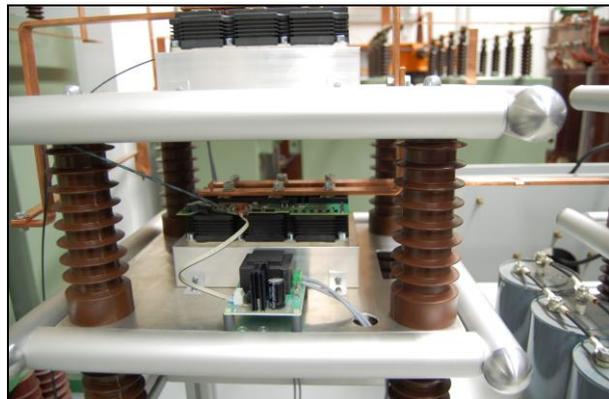
### 3.2 Arbeitsgruppe Gleichstromsysteme - Working Group DC Power Systems

#### Untersuchung des Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Die Anforderungen im Bereich Planung und Betrieb sicherer Energieversorgungssysteme sind gestiegen. Hierdurch ist der zunehmende Einsatz von Leistungselektronik zur gezielten Steuerung von Lastflüssen erforderlich. Als Anwendungsbeispiele seien Stromrichter im Verbund mit erneuerbaren Erzeugern, die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) oder FACTS genannt. Seit 2010 arbeitet das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) gemeinsam mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) an Verfahren zur Verlustbestimmung an selbstgeführten Stromrichtern. Eine neu errichtete HGÜ-Prüfanlage und bestehende Prüfeinrichtungen am elenia werden zur Untersuchung des Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern genutzt.

Geforscht wird mit weiteren europäischen Metrologieinstituten im Rahmen des EU geförderten Projekts *ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current*. Im Fokus der Untersuchungen am elenia stehen IGBT-Module (Insulated Gate Bipolar Transistors; **Abbildung 14**), die in Stromrichtern und somit auch bei einer HGÜ ein bedeutendes Verlustelement darstellen. Ein IGBT stellt durch seine schnellen Schaltvorgänge besondere Anforderungen an eine präzise Messtechnik. In **Abbildung 15** ist beispielsweise ein Zeitversatz in der Messung von Kollektorstrom und Kollektor-Emitter-Spannung beim Einschaltvorgang eines IGBT-Moduls dargestellt. Ein solcher Zeitversatz verursacht Fehler bei der Verlustbestimmung, kann allerdings durch die geeignete Konfiguration des Messsystems vermieden werden.



**Abbildung 14** - IGBT-Modul in der elenia-Prüfanlage

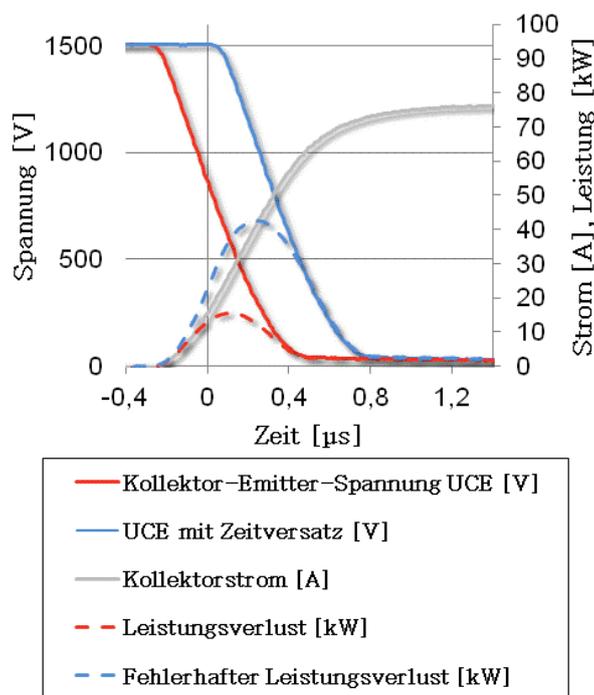
**Figure 14** - IGBT module at elenia test field

#### Research on Power Semiconductor Switching Behaviour

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

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 14**) that make high demands on the measurement system due to the IGBT fast switching capability. Together with further European metrology institutes the research is done in the framework of the project *ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* funded by EU.



**Abbildung 15** - Fehlerhafte Verlustbestimmung durch Zeitversatz zwischen gemessenem Strom- und Spannungssignal

**Figure 15** - Impact of time delayed current and voltage signals on IGBT loss measurement

In **Figure 15** the impact of time delayed current and voltage signals on IGBT loss measurement is depicted. The time delay causes a failure in loss determination. In order to measure precisely and to avoid or compensate such failures the right configuration of the measurement system is essential.

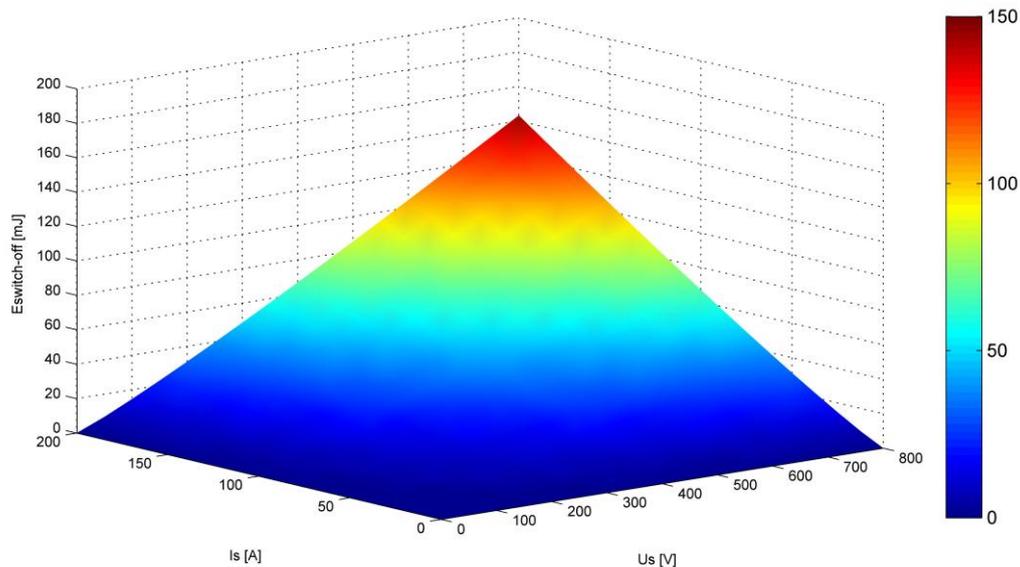
### Verhaltensmodellierung von Energieverlusten der Leistungs-IGBT

*Dr.-Ing. Vladimir Ermel*

Der steigende Einsatz von HGÜ-Linien aufgrund der Energiewende in Deutschland erfordert eine Einführung von wirkungsreichen Konvertern. Die Effizienz der Konverter ist größtenteils durch die Verluste der Leistungshalbleiter eingeschränkt.

Die Energieverluste werden durch ein zweikanaliges Messsystem erfasst. Die Leifähigkeitsverluste werden mit dem Diskriminator-Schaltkreis gemessen wobei zur Erfassung der

Schaltverluste das direkte Meßverfahren verwendet wurden. Die Messdaten für die Ein- und Ausschaltverluste wurden nach dem Delaunay Triangulation Verfahren bearbeitet und mit der analytischen Funktion interpoliert. Die **Abbildung 16** stellt die Delaunay Triangulation Oberfläche für die untersuchten Leistungs-IGBT dar. Die gewonnenen Ergebnisse sind in die Software SPICE integriert, um daraus die Verluste im Langzeitbetrieb des Leistungskonverters zu ermitteln.



**Abbildung 16** - Ausschaltverluste der IGBT-Stack

**Figure 16** - Switch-off loss of the IGBT-stack

## Behavioural modelling of energy losses of the power IGBT

*Dr.-Ing. Vladimir Ermel*

Rising employment of the HVDC transmission lines during energy turn in Germany requires an introduction of the low energy loss converters. The high efficiency of the converters is to a large extent feasible by the restriction of the losses of the power semiconductors.

Acquirement of the energy losses is brought out by the introduction of the two-channel measuring system. The conduction loss is processed with the discriminator circuit whereby for acquisition the switching losses the direct measuring technique is used. The measuring data for the switching are processed after Delaunay triangulation procedure and further with the analytic function interpolated. The **Figure 16** represents Delaunay triangulation surface for the examined power IGBT. The data set was integrated into software SPICE for acquirement of the energy losses in the long-term functioning of the power converter.

## **Analyse von Gleichstromsystemen**

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

Energie- und Umweltfragen fördern immer stärker die Integration erneuerbarer Energiequellen als dezentrale Erzeugungsanlagen (DEA) in Nieder- und Mittelspannungsverteilnetzen (MS/NS). Der Großteil der DEA sowie der Speichersysteme erzeugt Gleichstrom oder erfordert zumindest eine DC-Zwischenstufe vor der Einspeisung in das Wechselstromnetz. Die Anwendung als DC-Verteilsystem eröffnet daher neue Möglichkeiten für die Netzentwicklung. Forschungsziele sind hierbei die Durchführung einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung von Gleichstromsystemen auf MS/NS-Ebene, die Erarbeitung verschiedener Steuerungsstrategien von Gleichstromverteilnetzen zur Qualitätssteigerung und die Entwicklung eines DC-Zwischenkreises zur Verbindung zweier MS-Verteilnetze.

## **DC Power Systems Analysis**

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

Energy and environmental considerations encourage more and more the integration of renewable energy based resources as Decentralized Generation (DG) at the distribution level of the grid. As the major part of DGs and storage systems are generating DC power or require an intermediate DC stage before the power can be injected into the AC grid, therefore the utilization of the DC distribution systems opens new possibilities for network development. Objectives of the current research are a techno-economic study of MV/LV DC power systems, different control strategies of DC distribution networks for power quality enhancement, and the implementation of a DC-Link within two different MV distribution networks.

## **Blindleistung in zukünftigen Netzen**

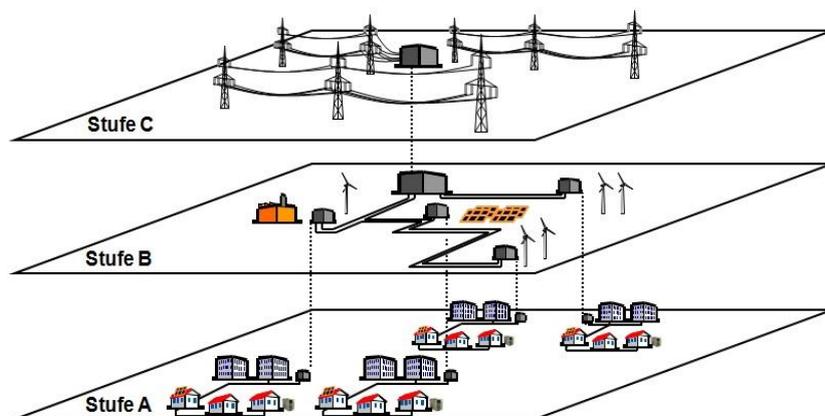
*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

Ein unkompensierter Anteil an Blindleistung in Stromnetzen erschwert die Stabilisierung der Netzspannung. Zusätzlich erhöht er die Kosten. Im gesamten Netz müssen alle Systemteile wie Kabel, Transformatoren und Generatoren größer ausgelegt werden, damit sie den Gesamtstrom tragen können. Im zukünftigen Netz wird es eine Vielzahl von dezentralen Erzeugern geben. Der Einfluss dieser Anlagen auf die Blindleistungseinspeisung muss dabei bereits heute analysiert werden. Die Ziele der Arbeit sind die Einschätzung der Auswirkungen der Blindleistungseinspeisung in NS-Netzen auf die Spannungen im gesamten Verteilungsnetzabschnitt und die Entwicklung eines Algorithmus zur Blindleistungskontrolle. Dadurch soll die Spannungsstabilität im Netz erhöht werden.

## Reactive Power in the Future Grids

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

Uncorrected reactive power complicates the stabilization of network voltages. Moreover, it will be the cause of additional costs throughout the entire network since all the power systems components, such as cables, transformers, and generators, must be sized to carry the total current. In the future grids a large number of decentralized generation will prevail; therefore the implications of reactive power injection through these sources need to be analyzed. The objectives of the current work are the implications of reactive power injection into networks on the voltages at LV and MV levels as well as reactive power control algorithms for maximizing the voltage stability of the grid.



**Abbildung 17 - Zukünftiges Stromnetz**

**Figure 17 - Future Energy Network**

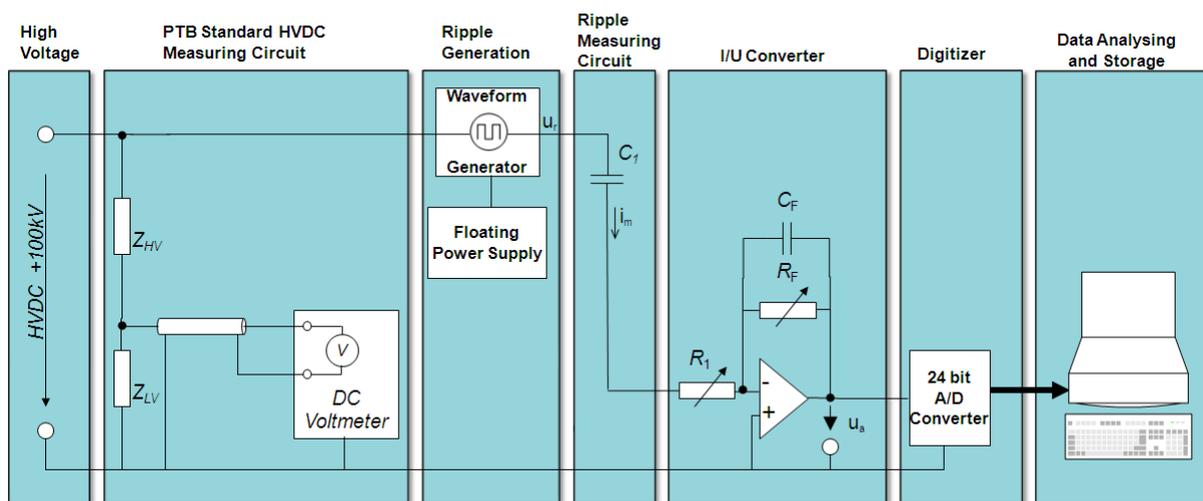
## Welligkeitsmessungen für Anwendungen der Hochspannungs-Gleichstromübertragung

*Dipl.-Ing. Johann Meisner*

Das Europäische Verbundnetz befindet sich seit dem Beschluss des Gesetzes zum Ausbau von Energieleitungen im Jahr 2009 (EnLAG) in einem bedeutsamen Umbruch. Wie aus der überarbeiteten, zweiten Fassung des Netzentwicklungsplans 2012 der vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber ersichtlich, spielt dabei auch die Hochspannungs-Gleichstromübertragung eine wichtige Rolle. In diesem Gebiet ist die Präzisionsmesstechnik für Abrechnungszwecke sowohl aus Sicht der Messtechnik als auch der Normung noch im Rückstand. Aus diesem Grund beschäftigt sich der Fachbereich „Elektrische Energiemesstechnik“ der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt mit dem Gebiet der DC-Hochspannungs- und DC-Hochstromsensoren sowie im Rahmen einer Beteiligung an europäischen Forschungsprojekten mit dem Thema der Energiemessung in den HGÜ-Gleichstromtrassen. Im Rahmen des Aufbaus des Bereichs DC-Energiemesstechnik an der Physikalischen-Technischen Bundesan-

stalt wurde ein Verfahren zur Erzeugung und Erfassung von Welligkeiten („Rippel“) auf hohem Gleichspannungspotential entwickelt und 2011 auf dem „International Symposium on High Voltage Engineering“ (ISH) vorgestellt und veröffentlicht. Dieses Konzept wurde nun weiterentwickelt und die Messaufbauten zur simulierenden Erzeugung und präzisen Messung von Spannungen mit definiertem Rippel wurde erstellt.

Die reproduzierbaren Wechselspannungsüberlagerungen werden in dem verbesserten Aufbau mittels eines auf Hochspannungspotential von bis zu 100 kV arbeitenden Frequenzgenerators erzeugt. Dies geschieht mittels Addition von vier einstellbaren Sinussignalen unterschiedlicher Frequenzen mit maximaler Spitzenspannung von  $\pm 18$  V. Die Messung der erzeugten Rippel erfolgt über den Ladestrom eines Hochspannungskondensators, der mit Hilfe eines I-U-Konverters in eine dazu proportionale Spannung gewandelt wird (**Abbildung 18**). Zur Kompensation der Frequenzabhängigkeit des Ladestroms wurde der I-U-Konverter mit einem geeigneten Filter angepasst.

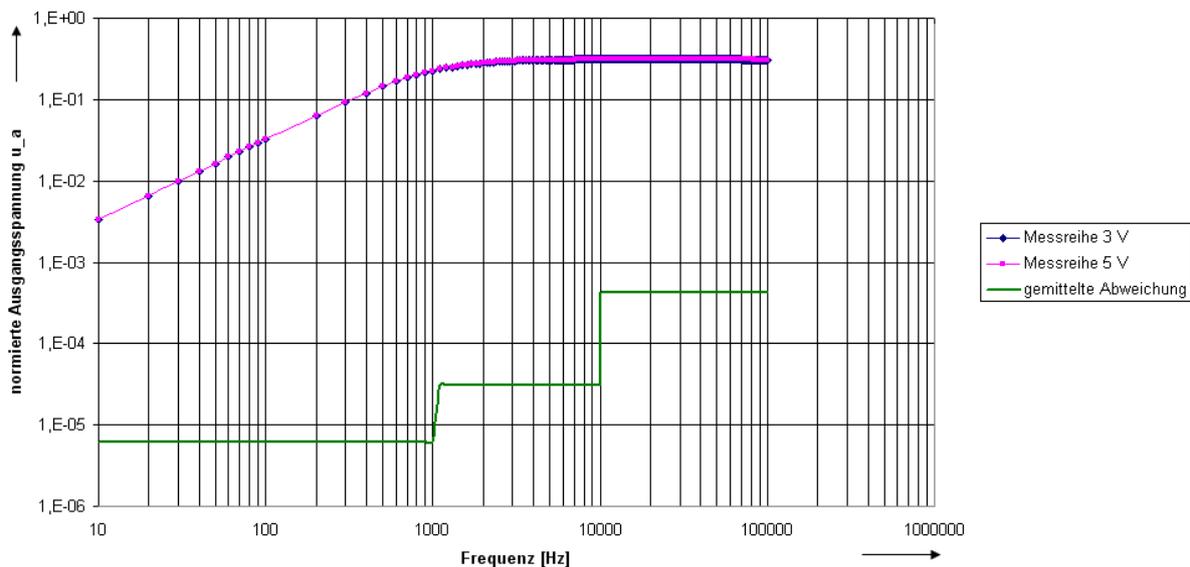


**Abbildung 18** - Schematischer Aufbau des Messplatzes für die Welligkeit von DC-Hochspannung

**Figure 18** - Schematic installation

Darüber hinaus wurde der messtechnisch ermittelte Frequenzgang der Kombination aus Hochspannungskondensator und I-U-Konverter mit integriertem Tiefpassfilter mittels einer mathematischen Funktion nachgebildet und als Korrekturfunktion in die Messsoftware eingebunden. Hierfür wurde jeweils ein Polynom 9. Ordnung für drei Frequenzbänder analytisch berechnet und messtechnisch nachgewiesen. **Abbildung 19** zeigt die Abweichung der mathematisch bestimmten Approximation des analytischen Frequenzverhaltens vom messtechnisch erfassten gemittelten Frequenzgang.

Die Bestimmung der Genauigkeit des Messverfahrens ergab im Frequenzband von 10 bis 100 kHz für die relativen Messabweichungen Werte von unter  $1 \times 10^{-3}$ . Lediglich die Übergangsbereiche der Korrekturfunktionen im Frequenzband zeigen noch höhere Abweichung von bis zu 1 %. Dies soll in den nächsten Entwicklungsschritten verbessert werden. Eine Spannungsabhängigkeit des Messverfahrens konnte im Rahmen der Messunsicherheiten der messtechnischen Untersuchungen ausgeschlossen werden.



**Abbildung 19** - Abweichung des berechneten zum gemessenen Frequenzgang  
**Figure 19** - Deviation of the measured frequency from the calculated frequency

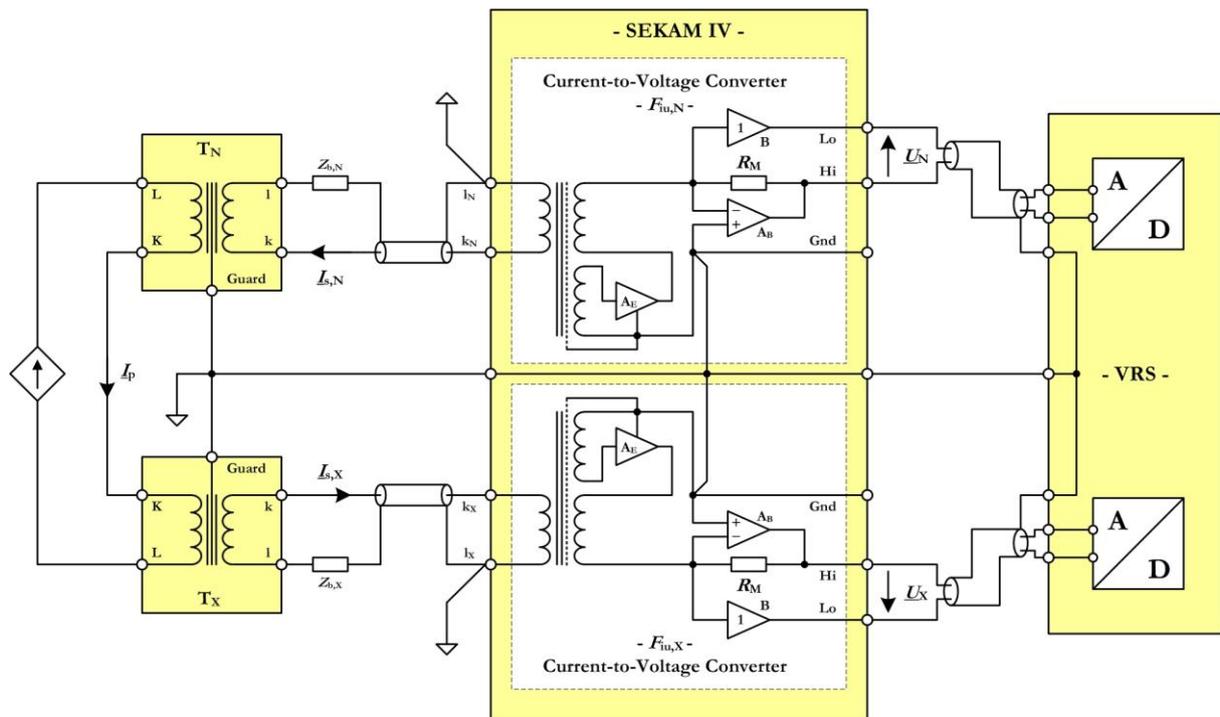
### Messeinrichtung zur Bestimmung der Frequenzabhängigkeit von Stromwandlern

*Dipl.-Ing. Enrico Mohns*

Im Rahmen zweier von der EU geförderten Gemeinschaftsprojekte JRP15 „Metrology for HVDC“ und JRP 14 „Metrology for Smart Electrical Grids“, an dem mehrere europäische metrologische Institute und Universitäten beteiligt sind, wird derzeit eine auf nationale Normale rückführbaren Messmöglichkeit zur Bestimmung des Frequenzganges nach Betrag und Phase von Stromwandlern geschaffen. Eine breitbandige Messeinrichtung ist beispielsweise notwendig, um die messtechnischen Eigenschaften von Wandlern auch unter nicht sinusförmigen Bedingen oder bei höheren Frequenzen festzustellen.

Eine mögliche Messanordnung zur Bestimmung der Messabweichungen eines Stromwandlers TX basiert, wie in **Abbildung 20** dargestellt, auf den Vergleich mit einem Normalstromwandler TN. Der Vergleich erfolgt ratiometrisch über das komplexe Verhältnis der Sekundärströme. Dabei werden diese Ströme über eine geeignete Stromwandlermesseinrichtung (SEKAM IV) mit dual aufgebautem Strom-Spannungskonverter in äquivalente Spannungen konvertiert.

Über das komplexe Spannungsverhältnis kann unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Strom-Spannungskonverter auf die Messabweichungen von TX geschlossen werden. Die SEKAM IV ist mit elektronisch fehlerkompensierten Stromwandlern und nachfolgend angeordneten „aktiven“ Messwiderstand realisiert. Die benötigten Strombereiche von 100 mA bis 5 A werden über Primärstromanzapfungen realisiert. Die Eingangsimpedanzen der Stromeingänge sind dadurch entsprechend niederohmig im Bereich von einigen mΩ bis hoch zu einigen 100 mΩ.



**Abbildung 20** - Messanordnung zur Kalibrierung eines Stromwandlers (TX) mittels Normalwandler (TN), einer Stromwandlermessereinrichtung (SEKAM IV), sowie einem Messsystem zur Bestimmung komplexer Wechselstromverhältnisse (VRS).

**Figure 20** - Measurement setup

Das Messsystem zur Bestimmung des komplexen Wechselstromverhältnisses (VRS) ist mit einem kommerziellen Digitizers (NI 5922) sowie einem analogen Front-End aufgebaut. Dieses passt die differenziell ausgelegten Eingänge im Bereich bis zu  $\pm 10$  V auf die Bereiche von 5 V (bzw. 1 V) des Digitizers an. Diese Anpassung erfolgt mit Hilfe eines zweistufig aufgebauten Instrumentenverstärker mit hoher Gleichtaktunterdrückung (besser 100 dB bis 20 kHz), sowie einem flachen Verlauf des Frequenzganges (Verstärkung flach innerhalb  $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ ). Ein synchronisierter Prozess, bei dem die beiden Kanäle des Digitizer vertauscht werden, sorgt für eine automatische Kompensation der Gleichlauffehler. Das komplexe Spannungsverhältnis kann dadurch für typische Signale im 50 / 60 Hz Bereich mit Messunsicherheiten im Bereich von unter  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ , und Winkelfehlern im Bereich von unter

$\pm 1 \mu\text{rad}$  aufgelöst werden. Bis etwa 20 kHz liegt die typische Messunsicherheit des VRS bei etwa  $\pm 10 \cdot 10^{-6}$ , bzw.  $\pm 10 \mu\text{rad}$ .

Die Stromwandlermesseinrichtung SEKAM IV wurde mithilfe des VRS und kalibrierten breitbandigen Messwiderständen in den verschiedenen Bereichen von 0,1 A – 5 A bei Frequenzen bis über 20 kHz hinsichtlich des Frequenzganges nach Betrag und Phase kalibriert. Sie arbeitet im Aussteuerungsbereich von 1 % bis 200 % und soll im Frequenzbereich von 16,7 Hz bis etwa 20 kHz eingesetzt werden. Die festgestellten Messabweichungen der eingebauten Strom-Spannungskonverter sind praktisch kurvenformunabhängig, sodass hier auch Experimente mit Kalibrierungen unter verzerrten Bedingungen durchgeführt werden können.

Erste Messungen bei Stromstärken im Bereich bis 10 A wurden bereits an Klasse 0.5 Wandlern durchgeführt. Hier gilt es jedoch im nächsten Schritt über geeignete Anpassstromwandler den erzeugbaren Stromstärkebereich bis auf einige 100 A und einige kHz auszudehnen. Anschließend können die vorhandenen Normalwandler hinsichtlich ihrer Eignung untersucht werden.

### **Current transformer test set for the audio frequency range**

*Dipl.-Ing. Enrico Mohns*

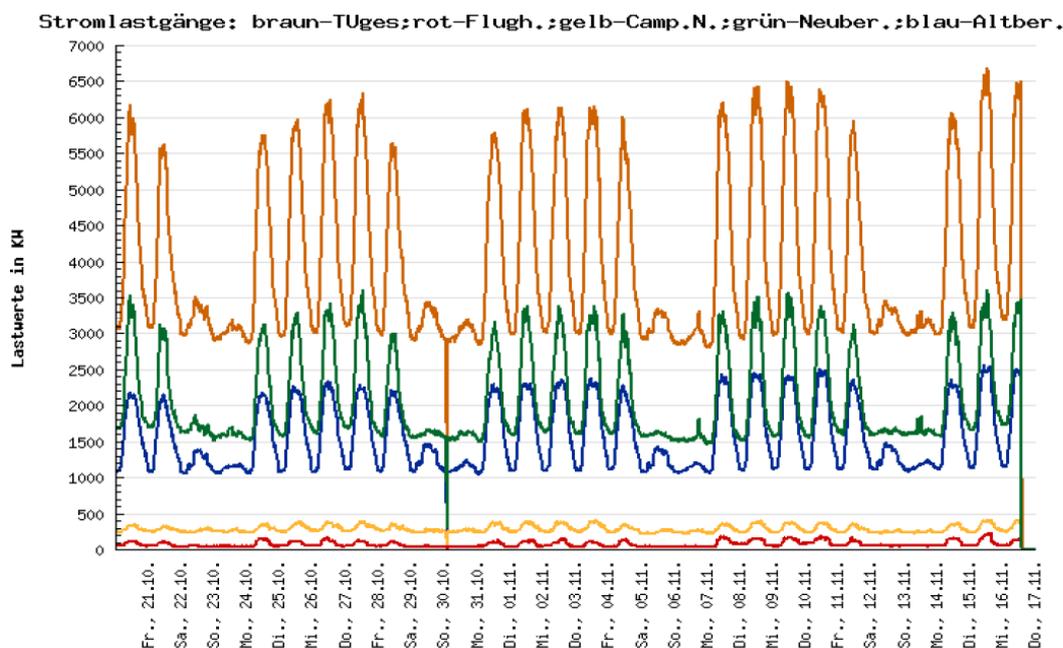
This short report describes the setup of a test set for current transformer (CTTS) calibrations using a two-channel voltage ratio measurement method. A wideband two-channel digitizer and a differential analogue front-end are used as the heart of a complex voltage ratio measurement system. The front-end suppresses some static errors of the digitizer and is tested for the frequency range up to 200 kHz. A current transformer coupled input stage, or alternatively, passive shunts adapt the secondary and primary current of the tested current transformer to the  $\pm 2 \text{ V}$  or  $\pm 10 \text{ V}$  input range of the ratio measurement system. The system is used to calibrate sensors for efficiency measurements in the frame of current European Metrology Programmes (EMRP).

## Energieeffizienter Campus und Untersuchung von DC Microgrids

*Dipl.-Wirtsch.-Ing., MBA Benjamin Munzel*

Die ganzheitliche energiegerechte Sanierung der europäischen Stadt ist ein Schlüsselthema zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Am Beispiel des innerstädtischen Campus der TU Braunschweig werden im Rahmen des Forschungsprojekts „Energieeffizienter Campus: blueMAP TU Braunschweig“ beispielhaft Planungs- und Optimierungsmethoden zur Verbesserung der Energieeffizienz von Stadtquartieren entwickelt. Aufbauend auf der evaluierten Ausgangssituation werden Szenarien zur Reduzierung des Energieverbrauchs, dem rationellen Energieeinsatz und der Nutzung erneuerbarer Energiequellen auf dem Hochschulcampus unter ökologischen und ökonomischen Randbedingungen untersucht. Dies erfolgt in einem interdisziplinär aufgestellten Team aus Architekten und Städtebauplanern, Maschinenbauingenieuren, Elektrotechnikern usw. Während der Projektlaufzeit von April 2012 bis September 2014 wird ein energetischer Masterplan erstellt.

Um den Anspruch der wissenschaftlichen Einrichtungen bei der Planung und Erarbeitung innovativer Konzepte zu dokumentieren, werden die politisch vorgegebenen Teilziele, z.B. für die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020, verdoppelt und Visionen für eine nachhaltige Energieversorgung des Campus bis 2050 entwickelt. Dabei werden auf Basis einer Bestandsaufnahme (Status 2010) Methoden und Werkzeuge zur mittelfristigen Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 40 % (Konzept 2020) und zur langfristigen Versorgung des Campus mit ausschließlich regenerativen Energien (Vision 2050) erarbeitet.



**Abbildung 21** - Lastgang des Campus

**Figure 21** - Load curve of the campus

Das Arbeitspaket des elenia in dem Forschungsprojekt beinhaltet insbesondere die Integration dezentraler Strom- und Wärmeerzeuger (Photovoltaik, Blockheizkraftwerke) sowie von Energiespeichern und Elektromobilität auf dem Campus. Ziel ist die simulative Evaluation von Versorgungskonzepten. Darüber hinaus wird auch eine Gleichstromversorgung des Rechenzentrums untersucht. Studien zeigen, dass durch die Umrüstung der Energieversorgung von Rechenzentren über 20% der benötigten elektrischen Energie eingespart werden können. Dieser Ansatz wird aus folgender Motivation über die Grenzen von Computeranwendungen hinaus verfolgt.

Ende des 19. Jahrhunderts hat sich Wechselspannung als Technik für die Stromübertragung und elektrische Energieversorgung gegen Gleichspannung durchgesetzt. Während damals Glühlampen den Großteil der Stromverbraucher ausmachten und wenige, zentrale Kraftwerke viele Abnehmer in teilweise weiter Entfernung versorgten, zeichnet sich Anfang des 21. Jahrhunderts ein Paradigmenwechsel ab. Durch den vermehrten Einsatz dezentraler Energieanlagen im Rahmen des Klimawandels und der Energiewende sowie durch den steigenden Anteil von Elektronik in Stromverbrauchern nehmen die Anteile von DC-Erzeugern und DC-Verbrauchern stetig zu. Vor diesem Hintergrund wird in Forschung und Industrie an Konzepten gearbeitet, die verlustreiche, mehrfache Transformation zwischen AC und DC zu umgehen und Stromverbraucher lokal direkt mit Gleichspannung zu versorgen (DC Microgrids). Davon verspricht man sich insbesondere deutliche Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen bei der Energieversorgung.

Die Untersuchung von DC Microgrids wird in den folgenden drei Jahren parallel zum Forschungsprojekt „Energieeffizienter Campus“ erfolgen. Der Fokus liegt dabei auf den Vorteilen wie auch auf den Herausforderungen von Gleichstromsystemen zur Energieversorgung von Gebäuden. So besteht Forschungsbedarf unter anderem bei Fragen bezüglich geeigneter Spannungsebenen, der Standardisierung, der Schutztechnik und im Bereich der Leistungselektronik.

### **Energy-efficient campus and investigation of DC microgrids**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing., MBA Benjamin Munzel*

In the process of transferring the German energy system towards energy efficiency and renewable sources, rehabilitation is a key subject. In April 2012 the research project “Energy-efficient Campus: blueMAP TU Braunschweig” has been initiated. Using the example of the university’s inner-city campus the project develops methods that improve urban energy efficiency. Therefore an interdisciplinary team of researchers develop a master plan to reduce the

energy consumption on campus by 40% until 2020. From 2050 on a completely regenerative energy supply of the campus should be implemented.

elenia's work package in the research project's context focuses the integration of decentralized electricity and heat generators (photovoltaics, cogeneration units) as well as energy storage and electric vehicles. A simulative evaluation of supply concepts is the institute's objective. In addition, a possible supply of the data center with direct current is examined. Studies show that such a conversion of the energy supply can save 20% of the needed electricity. This approach is pursued beyond this context based on the following motivation.

At the end of the 19th century alternating current became the leading technology for power transmission and supply. While back then incandescent lamps accounted for the bulk of electricity consumers and few central power stations supplied many consumers in partly far distance, at the beginning of the 21st century a paradigm shift becomes apparent. Increasing applications of decentralized energy systems as well as the increasing content of electronics in electricity consumers lead to an increasing proportion of direct current producers and DC consumers. Against this background, research and industry are working on concepts to avoid lossy multiple conversions between AC and DC and supply electricity consumers locally with direct current (DC microgrids). Benefits being hoped for in particular are considerable improvements in efficiency and cost savings in energy supply.

The analysis of DC microgrids will be carried out during the coming three years parallel to the research project "Energy-efficient campus" focusing the benefits as well as challenges of DC power systems for the energy supply of buildings. Among others there is need of further research concerning voltage levels, standards, protection technologies and power electronics.

### **Physikalische Modellierung von Li-Ion-Batteriezellen auf Basis impedanzspektroskopischer Untersuchungen**

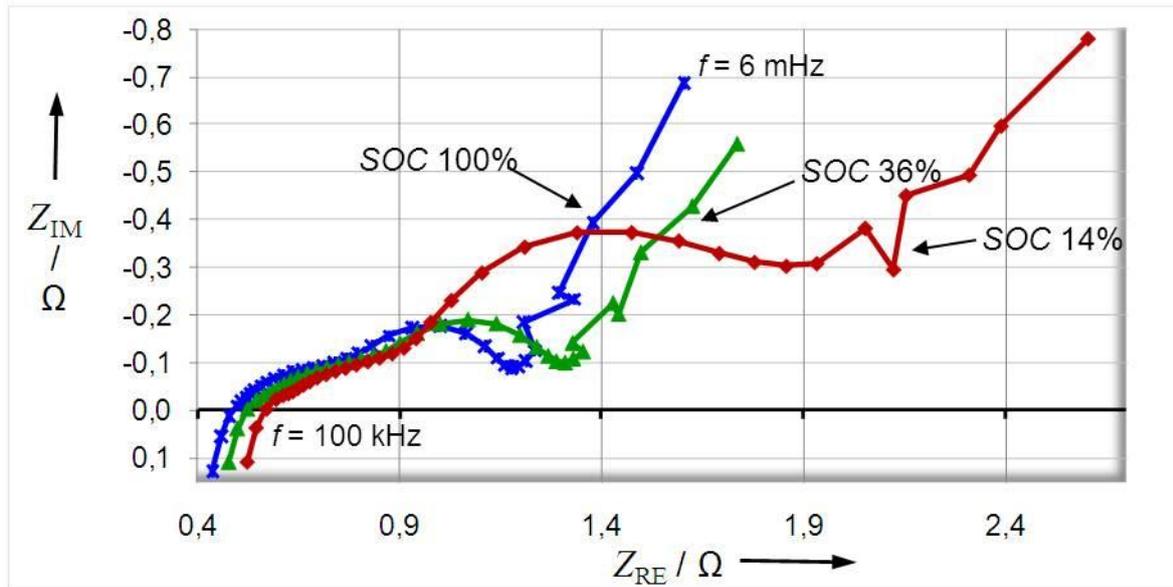
*Uwe Westerhoff, M. Sc.*

Um die Wünsche der Elektromobilitätsbranche an heutige Batteriezellen, lange Lebensdauer und hohe Leistungs- und Energiedichte, zu erfüllen, werden überwiegend Batteriezellen auf Basis der Li-Ion-Technologie verwendet. Aus aktueller Sicht stellt diese Technologie die bislang besten Voraussetzungen, um den Anforderungen der Branche Genüge zu tun.

Im Elektrofahrzeug, wie auch in den Hybridvarianten, besteht die Schwierigkeit eine Aussage über das Batterieverhalten und dessen Zustand zu bekommen.

Aus diesem Grunde werden Simulationsmodelle entwickelt, welche das Verhalten einer Batteriezelle nachbildet. Um auf die Batteriecharakteristik zu schließen wird die elektrochemi-

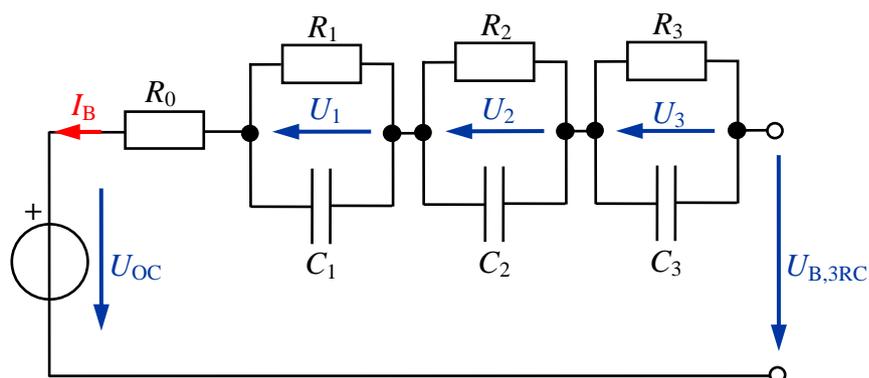
sche Impedanzspektroskopie angewendet. Die Impedanzspektren weisen dabei ein starke Abhängigkeit vom Ladezustand auf, siehe **Abbildung 22**.



**Abbildung 22** - Impedanzspektrum bei unterschiedlichen Ladezuständen

**Figure 22** - Impedance spectra at different states of charge

Durch die Nachbildung des Impedanzspektrums lassen sich die Eigenschaften einer Zelle in einem Modell implementieren. Dieses geschieht durch die Verwendung von physikalischen Ersatzschaltbildern, siehe **Abbildung 23**. Das Ersatzschaltbild besteht hierbei aus einer Spannungsquelle, einem Vorwiderstand und 3 Parallelschaltungen von Kondensator und Widerstand.



**Abbildung 23** - Elektrisches Ersatzschaltbild einer Batteriezelle mit 3 R||C-Gliedern in Reihe.

**Figure 23** - Electrical equivalent circuit diagram of a battery cell with 3 R||C-elements in series.

Die Spannungsquelle  $U_{OC}$  im Ersatzschaltbild steht für die vorhandene elektromotorische Kraft / Ruhespannung, welche aus der Potentialdifferenz der unterschiedlichen Elektrodenma-

materialien resultiert. Sie ist jene Spannung, die an den offenen Klemmen einer Batterie gemessen wird, wenn gewährleistet ist, dass kein Stromfluss stattfindet. Die Widerstände beschreiben die Leitfähigkeiten von Materialien wie dem Elektrolyt und Übergangswiderstände unterschiedlicher Materialien. Kapazitäten beschreiben z.B. die Doppelschichtkapazität und Diffusionsvorgänge innerhalb der Zelle.

### **Physical modeling of Li-ion battery cells based on impedanz-spectroscopy tests**

*Uwe Westerhoff, M. Sc.*

Different desired characteristics of battery cells are required to meet the needs of the future electric mobility, such as long life, high power and energy density. Battery cells are mainly on the Li-Ion technology. From the current perspective, Li-Ion represents the best able technology to meet the performer requirements. However, as these batteries are used in electric vehicle, as well as in the hybrid variants, there is a difficulty in observing the behavior and the battery condition to get. Therefore, simulation models have to developed, to analyze the behavior of a battery cell. In the current study the battery characteristic was simulated using the electrochemical impedance spectroscopy. The results show that the impedance spectra have a strong dependence on the charge state, as can be seen in **Figure 22**.

Through the simulation of the impedance spectrum, the properties of a cell are implemented in the proposed model by using of the physical equivalent circuits, which can be seen in **Figure 23**. The equivalent circuit consists of a voltage source, a resistor and 3 parallel connections of capacitors and resistors.

The voltage source  $U_{OC}$  in the equivalent circuit diagram represents the electromotive force existing / open circuit voltage, which results from the potential difference between the different electrode materials. In other words, it is the voltage which can be measured at the open terminals of the battery. The resistors represent the conductivity of materials such as the electrolyte and the conducting resistance of different materials. The Capacitors represent the double layer capacitance and diffusion processes within the cell.

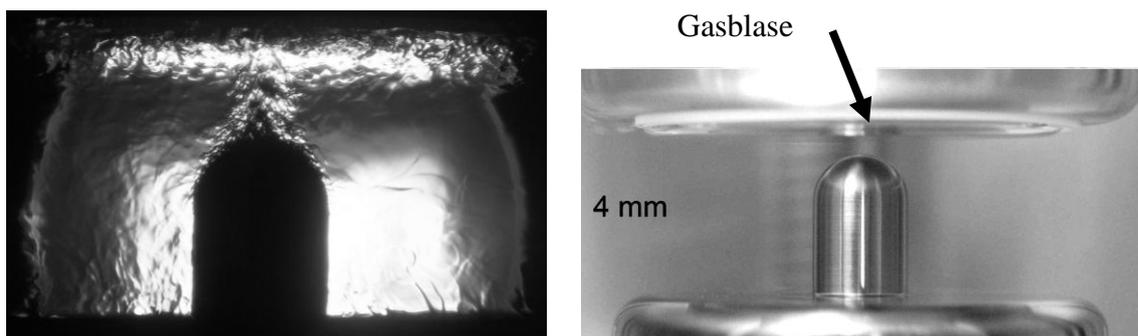
### 3.3 Arbeitsgruppe Isoliersysteme - Working Group Insulation Systems

#### Untersuchungen zur Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

Die Prototypen supraleitender Betriebsmittel werden zunehmend für Anwendungen im Hochspannungsbereich ausgelegt. Mit steigender Betriebsspannung wird das Wissen über Eigenschaften der Isolierung bei hohen Feldbelastungen immer wichtiger. Für Hochtemperatursupraleiter kann das Kühlmedium flüssiger Stickstoff ebenfalls für die elektrische Isolation verwendet werden. Um einen sicheren Betrieb der Anlagen gewährleisten zu können, muss eine ausreichende elektrische Isolierung sichergestellt werden. Dazu sind nicht nur die Eigenschaften des flüssigen Stickstoffes interessant, sondern ebenfalls die Eigenschaften des kryogenen Stickstoffgases. Dieses entsteht nicht nur durch den normalen Wärmeeintrag über die Spannungszuführungen und den Kryostaten, sondern vor allem im Falle eines Quenches (Übergang vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand). Bei diesem Vorgang wird viel Energie im Supraleiterband in Wärme umgewandelt und in das Kühlmedium eingetragen. Durch die geringe Temperaturdifferenz zum Siedepunkt und den hohen Wärmeeintrag in kurzer Dauer fängt der Stickstoff auf dem Leiterband an zu kochen und verdampft.

Der Einfluss der Blasen auf die Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff wird am Institut genauer untersucht. Dies wird zusammen mit der Siemens AG und der Nexans Deutschland GmbH in einem gemeinsamen Forschungsprojekt durchgeführt. Dazu werden in einer homogenen und inhomogenen Elektrodenanordnung auf der Oberfläche der Erdelektrode Gasblasen mit einem resistiven Heizer erzeugt (**Abbildung 24**, links). Die Auswertung und Beurteilung



**Abbildung 24** - links: Blasenauftreten durch beheizte Erdelektrode; rechts: Festgehaltene Blase unter der oberen Elektrode durch einen Teflonring

**Figure 24** - Left: bubble amount due to a heated electrode; right: trapped bubble under the upper electrode due to a teflonring

der gemessenen Effekte wird jedoch durch die sich ständig verändernde Geometrie aufgrund der bewegten Gasblasen erschwert. Deswegen wurden zusätzlich Untersuchungen mit einer

modifizierten Anordnung durchgeführt, mit der es möglich ist eine Gasblase unter der oberen Elektrode einzufangen (**Abbildung 24**, rechts). Diese Anordnung ermöglicht es auch, die elektrische Festigkeit des kryogenen Stickstoffgases zu untersuchen. Bei den Untersuchungen wurde deutlich, dass vor allem die geringe Anzahl an Startelektronen im Kryostaten die Durchschlagsfestigkeit wesentlich beeinflusst.

### Investigation of Discharges in Liquid Nitrogen

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

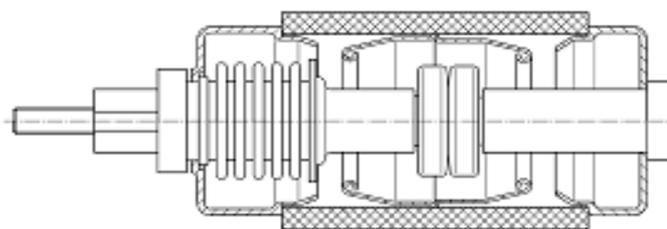
More and more prototypes of superconducting devices are used at higher voltage levels. Therefore, the knowledge of the electrical insulation properties becomes crucial for the design of the device. Liquid nitrogen is the common cooling liquid for high temperature superconductors but often it is also used as electrical insulation. Bubbles can be easily created in liquid nitrogen due to the small temperature difference between the operating and boiling temperature of the liquid and the huge heat input during a quench of a superconductor. Therefore, the knowledge of the insulating behaviour of a mixture of liquid and gaseous nitrogen is important.

These situations are investigated within this research project together with Siemens AG and Nexans Deutschland GmbH. In **Figure 24** on the left side thermally induced bubbles can be seen. Problematically for the investigations is the variation of the bubble geometry and amount due to the bubble flow during the measurements. Therefore another setup is investigated, where a bubble was trapped under the upper electrode via a teflonring (**Figure 24** right side).

### Dielektrisches Verhalten von Bedampfungsschichten auf Keramikoberflächen unter Vakuum

*Dipl.-Ing. Ingo Gramberg*

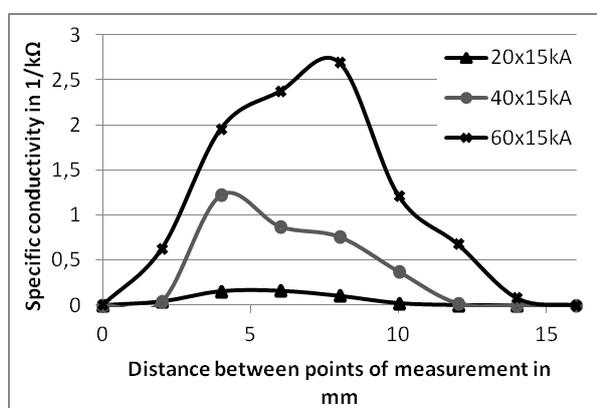
Vakuumschaltkammern haben sich innerhalb der letzten Jahrzehnte kontinuierlich weiter entwickelt und stellen heutzutage das Standardschaltgerät innerhalb der Mittelspannung dar. Ihre lange Lebensdauer und der Verzicht auf umweltschädliche Treibhausgase wie



**Abbildung 25** - Untersuchte Vakuumschaltkammer  
**Figure 25** - Investigated vacuum circuit breaker

z.B. SF<sub>6</sub> führen zu dem Bestreben, die Vakuumschaltkammern immer leistungsfähiger zu gestalten und somit ihren Einsatzbereich weiter auszudehnen.

Der während eines Schaltvorganges auftretende Lichtbogen führt zu einer Kontaktaufschmelzung und der Entstehung von Metaldampf innerhalb der Schaltkammer. Dieser kondensiert auf den Oberflächen der inneren Schaltkammerkomponenten. Schirme sollen dafür sorgen, dass der Metaldampf nur dort kondensiert, wo er keine negativen Auswirkungen auf die Performance der Schaltkammer haben kann. Keramikzylinder haben sowohl die Aufgabe für den Aufrechterhalt des Vakuums zu sorgen, als auch die auftretenden Betriebsspannungen zu isolieren. Eine zu starke Verunreinigung der Keramikoberflächen mit Metaldampf kann zu dem Verlust der Isolierfähigkeit führen.



**Abbildung 26** - Oberflächenleitwert auf Bedampfungen von unterschiedlich intensiv geschalteten Vakuumschaltkammern

**Figure 26** - Surface conductivity on evaporated areas of different Vis

Vorherige Untersuchungen haben gezeigt, dass ab einem gewissen Bedampfungsgrad die geforderte Blitzstoßspannungsfestigkeit nicht mehr gewährleistet sein kann. Dass die Bedampfungen der Keramikoberflächen für die reduzierte Blitzstoßspannungsfestigkeit verantwortlich sind konnte ebenfalls durch vorangegangene Untersuchungen belegt werden. Um den Prozess der während des Schaltens stattfindenden Bedampfung zu untersuchen, wurden „Particle in Cell“ Simulationen eben dieses Vorganges durchgeführt. Die Ergebnisse hieraus decken sich mit den zuvor erlangten Erkenntnissen aus Untersuchungen an bedampften Schaltkammerkeramiken. Eine

sich aus den bisherigen Untersuchungen ergebende Fragestellung lautet, wie genau die die Beeinträchtigung der Spannungsfestigkeit stattfindet. Zu diesem Zweck wurden Schichtanalysen mit der Elektronenstrahl- Mikroanalyse durchgeführt. Diese Untersuchungen lieferten sowohl Aufschluss über Schichtdicke als auch Zusammensetzung der Bedampfungsschichten. Vergleiche zwischen gemessenen Schichtdicken mit Ergebnissen aus den „Particle in Cell“ Simulationen ergaben wiederum gute Übereinstimmungen. Messungen des Oberflächenleitwertes zeigten auf, dass dickere Bedampfungsschichten erwartungsgemäß zu einer größeren Leitfähigkeit führen, was den Zusammenhang zur verminderten Blitzstoßspannungsfestigkeit erklärt. Die aus den Leitfähigkeitsmessungen sich ergebenden Messwerte wurden anschließend in eine elektrische Feldsimulation aufgenommen, die einen guten Eindruck davon vermittelt, auf welche Weise die Bedampfungen tatsächlich die Spannungsfestigkeit beeinflussen.

### **Dielectric characteristics of evaporation layers on ceramic surfaces under 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 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 can lose its insulation properties that can lead to surface flashovers. The amount of evaporated contact material depends on the interruption current and the arcing time. Investigations on the influence of evaporation layers on dielectric performance of vacuum interrupter gave evidence to the fact that evaporation layers do have a big influence on dielectric behavior. Irregular evaporation layers caused by switching operations of currents near maximum of VI's rated short circuit current were found to be most critical. Simulation results by "Particle in Cell" simulations lead to a better understanding of evaporation process during switching operations. Analysis of evaporation layers by "electron probe micro analysis" and surface conductivity measurements revealed further characteristic information that was used for electric field simulation.

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

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

In der Mittel- und Hochspannungstechnik wird den elektrischen Feldstärken und somit den Isolierungen bei der Auslegung von Geräten und Komponenten eine besondere Beachtung geschenkt. Aufgrund immer weiterer Miniaturisierung werden auch in der Niederspannungstechnik die Isolationen immer kleiner. Isolierungen sind jedoch fertigungstechnisch nicht homogen und ideal. So können sich in den vorhandenen Hohlräumen aufgrund der Feldstärken und der elektrischen Festigkeit Entladungen bilden. Diese sogenannten Teilentladungen bzw. Mikroplasma führen zur Degradation des Feststoffes, wodurch letztendlich ein Versagen der Isolierung verursacht wird. Seit langer Zeit wird zur Gewichts- und Kostenreduzierung der Einsatz von porösen Isolierstoffen (Schäume) angestrebt. Die Einsatzmöglichkeiten in hohen elektrischen Feldern sind allerdings durch die meist gasgefüllten Hohlräume sehr schwierig, da hierin Teilentladungen gezündet werden können.

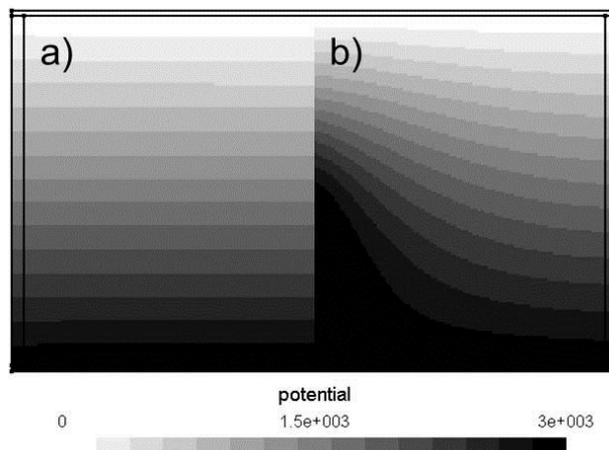
Grundlegende Untersuchungen der Ausbreitungsmechanismen von Mikroplasmen an einfachen Modellen für poröse Werkstoffe werden im Rahmen dieses Forschungsprojektes gemacht. Hierzu werden Simulationen sowie Messungen vorgenommen. Die Modell-Mikrohohlräume für die Messungen sind zylindrisch und im Bereich von einigen hundert Mikrometern in PDMS (Polydimethylsiloxan) als dielektrische Barriere und gefüllt mit Stickstoff unter Atmosphärendruck. Einzelne und multiple Mikrohohlraumgeometrien werden elektrisch (z.B. TE-Messungen) und optisch (Fernmikroskop und Schnellbildkamera) gemessen.

Die Entladungssimulationen werden überwiegend mit einem 3-dimensionalen parallel rechnenden PIC-MC (Particle-In-Cell Monte Carlo) durchgeführt, welches vom Fraunhofer IST entwickelt wurde. Mit dieser Software können Simulationen der Gasentladungen durchgeführt werden, um zeitlich und räumlich hochaufgelöst den Entladungsprozess beschreiben zu können.

Diese Berechnungen basieren auf Einzelteilchenbewegungen und –Interaktionen der ungeladenen und geladenen Teilchen unter Berücksichtigung der Reaktionswahrscheinlichkeiten. In **Abbildung 27** kann man exemplarisch die Ergebnisse einer quasi 2D-PIC-MC Simulation sehen. Hier ist die Verteilung des elektrischen Potentials in einem inneren Hohlraum vor (a) und nach (b) der Primärlawine zu sehen.

Aus den 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.

Dieses Projekt wird von der DFG gefördert.



**Abbildung 27** - Quasi 2D PIC-MC Plasmainsimulation des elektrischen Potentials in einem inneren Hohlraum vor (a) und nach (b) einer Primärlawine

**Figure 27** - Quasi 2D PIC-MC plasma simulation of the electrical potential in an inner cavity before (a) and after (b) primary avalanche

## Microplasma-propagation in porous materials

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

Electric fields in high-voltage applications are getting stronger due to reductions in size. Low-voltage applications with its smaller insulation areas have the same challenges. During the production process voids may be created in the insulations. Within this voids discharges can be occur and may lead to degradation. These discharges are called partial discharges or microplasmas. To reduce the weight, porous materials are planned to be used as insulations instead of solid materials. This results in even more inner voids and 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 temporal and spatial expansions of discharges are captured optically with a long-range microscope and a high-speed camera. Also research focusing on electric characteristics is done. The results of different scenarios are compared with each other and results of a PIC-MC (Particle-In-Cell Monte-Carlo) simulation tool (developed by Fraunhofer-Institute). As an example of a quasi 2D plasma simulation in PIC-MC, **Figure 27** shows the electrical potential in an inner cavity before (a) and after (b) a primary avalanche.

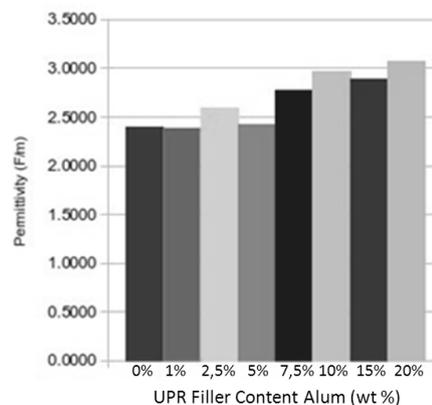
This project is supported by the DFG.

## Electrical Characterization of Nanocomposites

*Bernard Barbosa da Silva*

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

The usage of polymeric materials in the industry, no matter what area, has considerably grown with the advance of technology and, consequently the bigger knowledge of its characteristics. These materials are preferred due to their low weight, good processability at low temperatures, good corrosion resistance and easy handling. Adding metallic nanoparticles in disperse phase in polymeric matrices can make a significant change in the thermal and electrical characteristics of these matrices. The result obtained from the nanomaterials insertion in polymeric matrices is called nanocomposite. Composites of a resin matrix filled with metallic oxide particles have been widely researched and used for insulation systems. A good insulating material means that it has good dielectric



**Abbildung 28 / Figure 28** - Evolution of permittivity for UPR + Aluminum Oxide 30-40nm

and thermomechanical properties, therefore the composites are the perfect combination for this usage with good heat properties and high mechanical and breakdown strengths.

The objective of this work is to experimentally characterize nanocomposites composed of polymeric resin matrices filled by metallic oxide nanoparticles. Besides, the electrical properties of these composites will be experimentally measured in order to determine their applicability as insulators.

**Figure 28** shows the permittivity evolution of the composites of same matrix-material but with different quantity of fillers at a frequency of 50Hz.

With the results obtained from the experiments, it will be possible to define differences between the materials of the matrix and the fillers and also which of these nanocomposites can offer the best characteristics for insulation purposes.

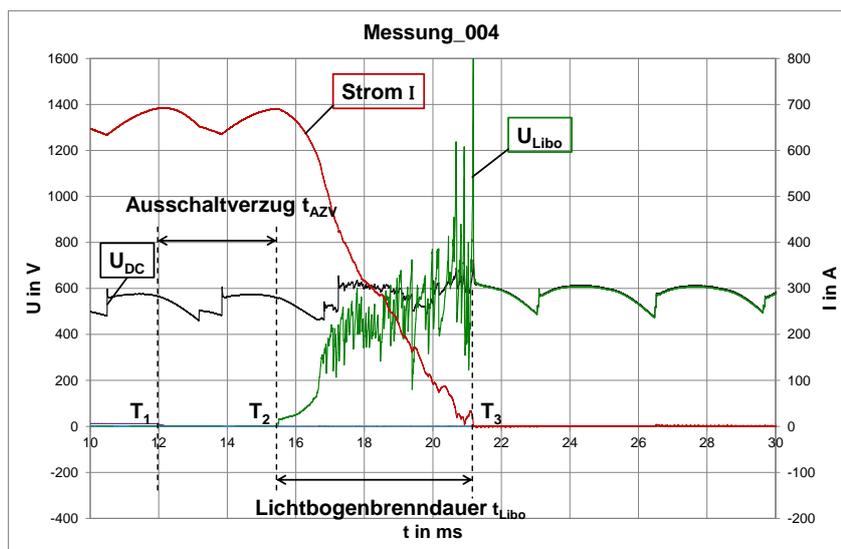
### **Experimentelle Untersuchung der Isolierstoffbeanspruchung bei Gleichstromschaltgeräten und des Abbrandverhaltens von Isolierstoffen für den Einsatz in Schaltkammeranwendungen der Niederspannungstechnik**

*Dipl.-Ing Hendrik Köpf*

Das erklärte Ziel der Bundesregierung sieht spätestens seit der Vorlage des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“ im August 2009 vor, dass bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren. Auf diese Weise erhofft man sich eine Verringerung der Abhängigkeit von erdölbasierten Treibstoffen und eine Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt umweltverträglicher Mobilität. Die zunehmenden Systemgrößen müssen jedoch unter Berücksichtigung sämtlicher sicherheitsrelevanter Aspekte bei der Dimensionierung der notwendigen Gleichstrombordnetze bedacht werden.

Im Augenblick werden in automobilen Bordnetzen Systemspannungen zwischen 300 V und 400 V eingesetzt, Entwicklungen gehen in Richtung von Spannungen größer 500 V. Die Nennströme innerhalb solcher Netze liegen aktuell im Bereich einiger 100 A, welche von leistungsstarken Lithium-Ionen-Akkumulatoren bereitgestellt werden. Im Fall eines auftretenden Kurzschlusses können diese chemischen Energiespeicher kurzfristig Kurzschlussfehlerströme bis zu einigen kA erzeugen. Die Herausforderungen des Führens und Schaltens solcher Gleichströme, ohne natürlichen Stromnulldurchgang, sind sehr hoch. Anhand des Signalverlaufs eines erfolgreichen Ausschaltvorganges eines kommerziell erhältlichen Schaltgerätes, welcher in Laboruntersuchungen durchgeführt wurde, wird dies in **Abbildung 29** veranschaulicht. Ein Ausschaltvorgang eines DC-Schaltgerätes für  $I_{\text{eff}} = 667 \text{ A}$ ,  $U_{\text{Last eff}} = 530 \text{ V}$  und einer Zeitkonstante  $\tau = 1 \text{ ms}$  wird hier betrachtet.

In nebenstehender Darstellung ist zu erkennen, dass zum Zeitpunkt  $T_1$  durch eine Steuereinheit der Ausschaltvorgang initialisiert wird. Im Augenblick  $T_2$ , nach endlicher mechanischer Schaltverzugszeit  $t_{AVZ}$ , bilden sich innerhalb des Schaltgerätes Lichtbögen aus, welche für den aufgezeichneten, zunehmenden Spannungsabfall  $U_{Libo}$  verantwortlich sind. Die Lichtbogenspannung  $U_{Libo}$  wird über die treibende Spannung  $U_{DC}$  hinaus erhöht und aufrechterhalten, solange bis der Strom  $I$  zum Zeitpunkt  $T_3$  zu 0 A gezwungen wird. Der Bedarf an Gleichspannungsschaltgeräten ist über den Bereich der automobilen Elektromobilität hinaus sehr hoch. Ob nun in industriellen Gleichspannungsnetzen unterschiedlicher Spannungsebenen oder in regenerativen Erzeugereinheiten, wie zum Beispiel Photovoltaik-Anlagen, ist diesbezüglich Bedarf gegeben.



**Abbildung 29** - Ausschaltvorgang eines DC-Schaltgerätes

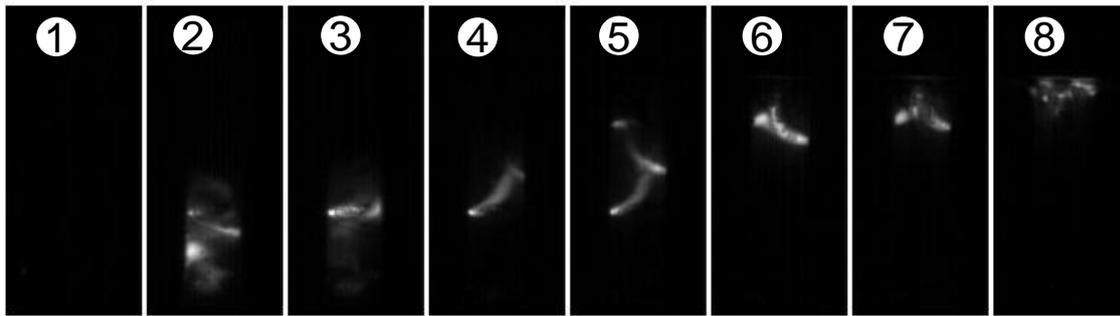
**Figure 29** - Breaking process of a dc-switchgear

Die Materialanforderungen, die an Gleichstromschaltgeräte für den Leistungsbereich einiger 100 kW gestellt werden, sind aufgrund von Parametern wie: Einbauraum, Gewicht, Energiebedarf und Kosten sehr hoch. Es ist daher notwendig die Auswirkungen von Schaltvorgängen auf Schaltkammer-komponenten zu untersuchen und zu bewerten. Eine Möglichkeit die Konsequenzen direkten Lichtbogen-kontaktes an Schaltkammerisolationen experimentell zu erforschen ist nachfolgend in **Abbildung 30** und **Abbildung 31** dargestellt.



**Abbildung 30** - Aufbau zur Untersuchung des Abbrandverhaltens von Schaltkammerisolationstoffmaterialien

**Figure 30** - Experimental arrangement for researches on the burn-off behavior of arcing chamber insulation materials



**Abbildung 31** - Aufbau zur Untersuchung des Abbrandverhaltens von Schaltkammerisolerstoffmaterialien

**Figure 31** - Experimental arrangement for researches on the burn-off behavior of arcing chamber insulation materials

**Abbildung 30** und **Abbildung 31** zeigen in der oberen Aufnahme den Prüfaufbau. Über einer Elektrodenanordnung wird in diesem Fall ein Probenkörper angebracht. Dieser Prüfling befindet sich über den Enden zweier Wolfram-Kupfer-Abbrandlektroden, welche zueinander einen Abstand von 10 mm besitzen. Ein Prüfdurchgang wird mit dem Zünden eines Lichtbogens zwischen den beiden Laufschienen eingeleitet. Die Schnellfilmkameraaufnahmen, welche in der Darstellung darunter zu erkennen sind, zeigen Ausschnitte einer solchen Untersuchung. Nach der Entstehung des Lichtbogens in Bild 2 wandert dieser zwischen den Laufschienen in Richtung des Probenkörpers. Die Bilder 3 bis 7 zeigen die hierbei auftretenden Vorgänge. In Bild 8 hat der Lichtbogen seine Endstellung erreicht, an welcher dieser bis zum Ende der Prüfung verharrt. Anhand gemessener elektrischer Signalverläufe und ausgewerteter Schnellfilmkameraaufnahmen werden anschließend die Energien bestimmt, welche an den Werkstoffen umgesetzt wurden. Die Aufnahmen ermöglichen außerdem die Beobachtung der gegenseitigen Beeinflussung von Isolationsmaterialien und Lichtbögen. Mithilfe eines Oberflächenscanners werden die aufgetretenen Abbrandvolumina abschließend berührungslos erfasst, wodurch eine Kategorisierung der verwendeten Werkstoffe ermöglicht wird.

**Experimental research on the insulation stress of direct current switchgear and the burn-off behavior of insulation materials for the application in arcing chambers of low voltage switching devices**

*Dipl.-Ing Hendrik Köpf*

One aim of the German government is 1 million electric vehicles on streets in Germany until 2020. In the last years the developments in this industrial sector lead to increasing system parameters. Currently voltages between 300 V to 400 V and currents of several 100 A are used in automotive direct current grids. These values will probably increase. Powerful lithi-

um-ion accumulators are used as energy sources in these arrangements. In case of electrical failures the chemical power sources are able to generate currents of several 1 kA.

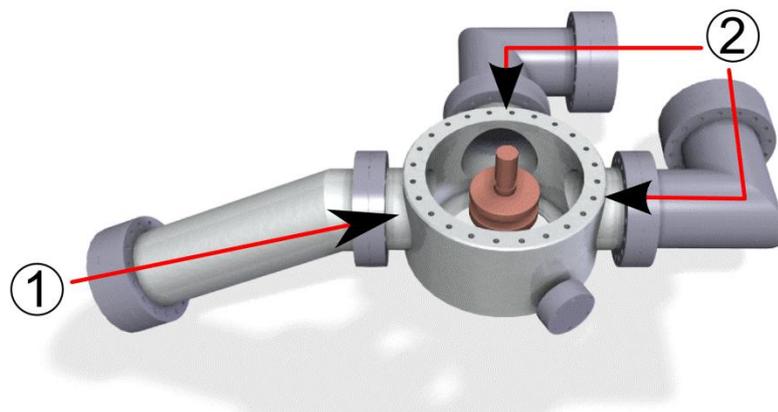
As a question of personal safety it is necessary to ensure, that the electrical parameters are in a controlled status in every condition of the system. The applied switchgears have to withstand high thermal, mechanical and electrical stress during such processes. A typical record of electric signals during a breaking process is shown in **Figure 29**. Power losses in arcing chambers of these components can achieve some 100 kW. In consequence the materials used in such arrangements have to be examined in special investigations. For example a configuration for researching the heat resistance and mechanical behavior of arcing chamber insulation materials is shown in **Figure 30** and **Figure 31**. During this experiment an arc is ignited, which can be seen in picture 2. In picture 3 to 7 the lightning arc is moving along the arc runners. It is burning under the test object, shown in picture 8, until the end of the examination. Afterwards the examined insulation materials are evaluated concerning the loss arc-energy, the burn-off volumes and the record of the electric signals.

### 3.4 Arbeitsgruppe Schaltgeräte - Working Group Switching Devices

#### Multidimensionale Untersuchung von Spiralkontakten im Ultrahochvakuum durch Schaltversuche

*Sergej Puzankov, M. Sc.*

Vakuumschaltkammern verdrängen in vielen Bereichen der Energietechnik zunehmend die SF<sub>6</sub> Schalter. Obwohl diese Leistungsschalter bereits seit über 30 Jahren erforscht werden, gibt es noch immer viele Unklarheiten. Bei diesem Forschungsschwerpunkt sollen unterschiedliche Kontakte im Ultrahochvakuum auf ihr thermisches und magnetisches Verhalten untersucht und simuliert werden.



**Abbildung 32** - Versuchsaufbau zur Messung der Kontakt-Oberflächen-Temperatur (1) und der Bewegung des Lichtbogens (2) im Ultrahochvakuum

**Figure 32** - Experimental setup

Zur genauen Messung der Temperatur unterzieht man die verwendete Thermografiekamera einer Kalibrierungs-Prozedur. Dabei wird die Strahlungscharakteristik von unterschiedlichen geschmolzenen CuCr-Legierungen untersucht. Das fehlende Wissen über diese Eigenschaften verhinderte bislang genaue Messergebnisse. Diese Schmelzen sind nämlich die Fußpunkte des entstehenden Lichtbogens zwischen den Kontakten einer Vakuumschaltkammer und sind die sich zeitlich verändernden Wärmequellen.

Aufgrund der resultierenden Magnetfelder zwischen den Spiralkontakten wirken Kräfte auf den Lichtbogen und lenken ihn kontinuierlich ab. Durch die Untersuchung der Lichtbogenbewegung kann daher das Magnetfeld zwischen den Kontakten berechnet werden.

In **Abbildung 32** ist die verwendete Versuchsanlage dargestellt. Durch den Seitenarm 1 wird mit einer Thermografiekamera eine Kontaktoberfläche beobachtet. Parallel dazu zeichnet eine High-Speed-Kamera die Position des Lichtbogens durch die Seitenarme 2 auf. Durch

Spiegel wird das Licht auf die optische Achse der Kamera gelenkt und gestattet dieser somit ein gleichzeitiges Aufzeichnen der Lichtbogenbewegung aus zwei Richtungen. Es werden Ströme von bis zu 60kA eff. (3kV) bei einer Frequenz von 50Hz abgeschaltet und die resultierenden Effekte in einem ca. 20ms großen Zeitfenster untersucht.

### **Multidimensional investigation of transverse-magnetic-field contacts (TMF) in UHV based on switching operations**

*Sergej Puzankov, M. Sc.*

Due to the importance of the vacuum interrupters in today's power supply industry it is necessary to go on investigating this switching device. The main focus of this research project is the thermal behavior and the magnetic interaction of the electric arc between two TMF-contacts. **Figure 32** shows the experimental set-up. Through the window 1 it is possible to examine the switching procedure thermographically. The developed setup 2 allows recording the arc movement from two 90° displaced directions and calculating the affecting magnetic field.

### **Simulation von Niederspannungslichtbögen**

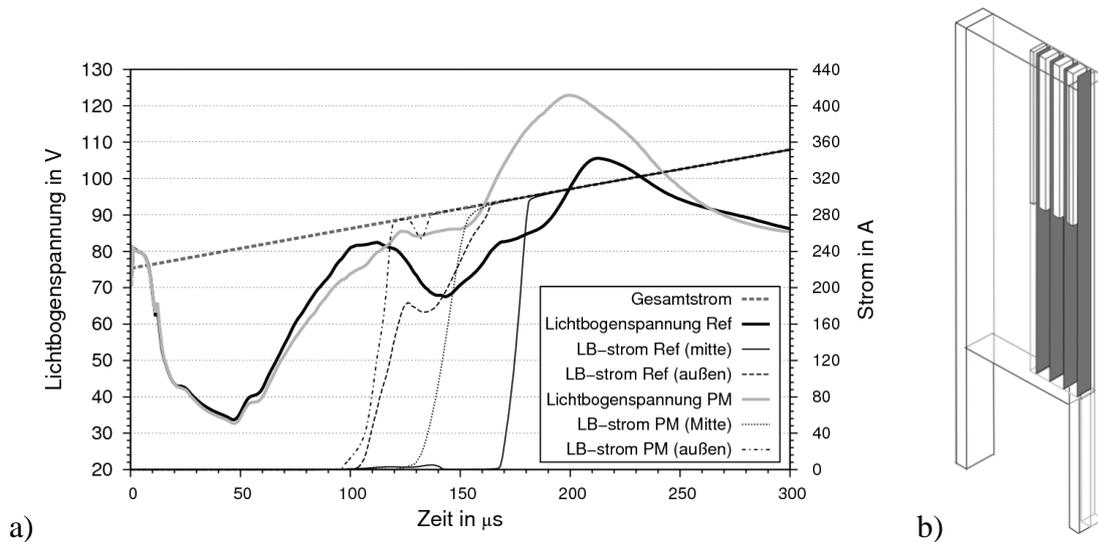
*Dipl.-Ing. Julia Rütter*

Das eigentliche Schaltelement in Niederspannungsschaltgeräten stellt der wandernde Schaltlichtbogen dar. Um die Beanspruchung der Betriebsmittel bei einem Kurzschluss zu verringern muss der Stromkreis vor Erreichen des prospektiven Kurzschlussstromes unterbrochen werden. Daher muss der Lichtbogen nach der Kontaktöffnung schnellstmöglich zum Verlöschen gebracht werden. Dies geschieht durch Verlängerung, Kühlung oder Einquetschen des Lichtbogens. Die wirkungsvollste Methode jedoch ist die Lichtbogenaufteilung an Löschblechen in mehrere Teilbögen. Um den aufwendigen Entwicklungsprozess von Schaltgeräten durch Erprobung mit realen Prototypen zu verkürzen und um das Verständnis der physikalischen Vorgänge im Lichtbogen zu erweitern, werden zunehmend Messungen durch Simulationen ergänzt.

Um die komplexen elektromagnetischen und thermodynamischen Vorgänge im Lichtbogen zu beschreiben, wird ein System von gekoppelten partiellen Differentialgleichungen gelöst. Die Simulation von Lichtbögen in Niederspannungsschaltgeräten mit einer Vielzahl an Löschblechen und somit auch an Finiten Elementen ist sehr rechenzeitaufwändig. Um die Simulationszeiten zu verkürzen wird ein Ansatz untersucht, den Löschblechstapel durch ein poröses Kontinuum zu vereinfachen. Für diesen Simulationsansatz müssen sowohl die gasdy-

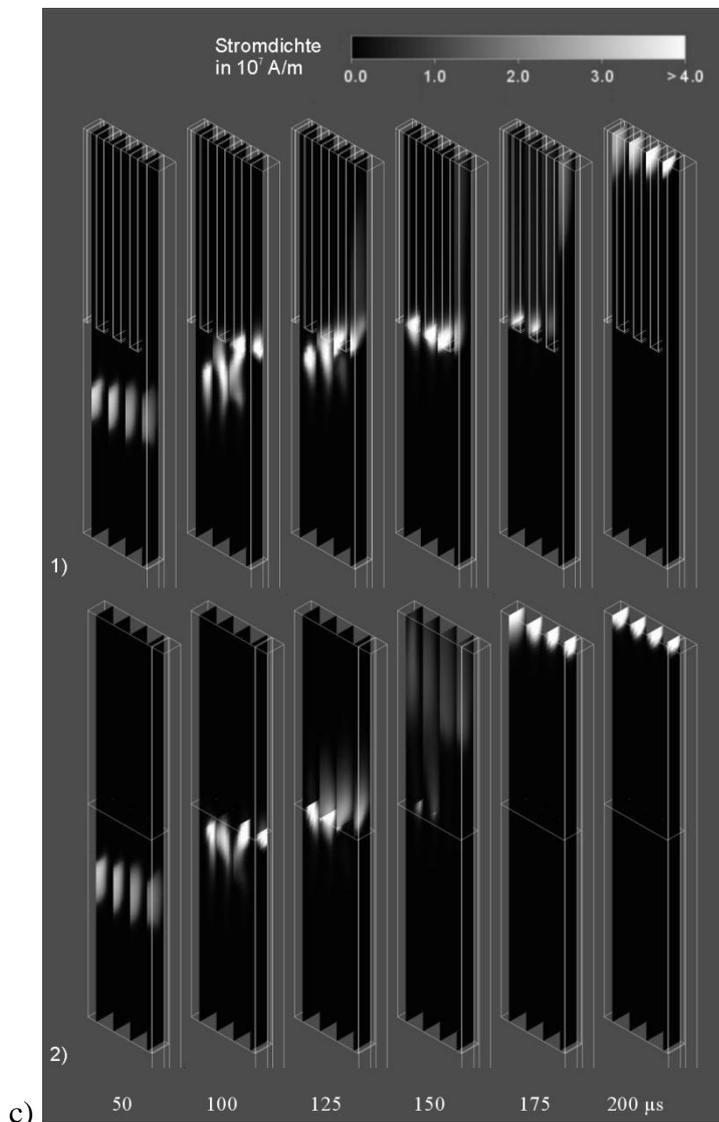
namischen als auch die elektromagnetischen Gleichungen über den Löschblechstapel gemittelt werden. Für die elektrischen Gleichungen wird dazu eine anisotrope Leitfähigkeitsmatrix verwendet, die sich aus einer Parallel- bzw. Reihenschaltung der temperatur- und druckabhängigen elektrischen Leitfähigkeit des Plasmas und des Metalls ergibt. Die gasdynamischen Gleichungen werden mithilfe eines porösen Materialmodells abgebildet.

In **Abbildung 33** werden die Simulationsergebnisse eines porösen Modells (PM) mit denen einer Referenzsimulation (Ref) verglichen. Zur Beschleunigung der Rechenzeit werden Symmetrien ausgenutzt und lediglich ein Viertel der Geometrie berechnet. Nach der Bogeninitialisierung werden aufgrund der starken Aufheizung des Plasmas Druckwellen erzeugt. Die am Löschblechstapel bzw. porösen Material reflektierte Druckwelle erreicht den Lichtbogen in beiden Simulationen jeweils nach etwa  $25 \mu\text{s}$  und führt zu einer Stagnation der sinkenden Lichtbogenspannung (vgl. **Abbildung 33 a**). Nach etwa  $75 \mu\text{s}$  erreicht der Bogen die Unterkante des Löschblechstapels oder des porösen Ersatzgebiets. Der Bogen wölbt sich um die Bleche bzw. pausiert kurz vor dem porösen Gebiet bevor er sich an den Blechen unterteilt oder in das poröse Gebiet einläuft. Der Vergleich zwischen beiden Simulationen zeigt somit ein ähnliches Verhalten. Im Fall des porösen Modells läuft der Aufteilungsprozess jedoch etwas schneller ab, als bei dem Modell mit Löschblechstapel.



a)

b)



c)

**Abbildung 33 -**

- a) Vergleich der Lichtbogenspannung und der Löschblechströme (LB-Strom) beider Simulationsmodelle
- b) Schnittebenen zur Auswertung der Stromdichteverteilung
- c) Stromdichteverteilung (b1 Referenzmodell b2 poröses Modell)

**Figure 33 -**

- a) Comparison of the arc voltage and the currents through the splitter plates
- b) Cutting planes for evaluation of the current density distribution
- c) Current density distribution (b1 splitter plate model, b2 porous model).

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

*Dipl.-Ing. Julia Rütter*

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.

In **Figure 33** the results of a simulation with a porous material approach is compared to a reference model. In order to reduce the simulation time, symmetries are used and only a quarter of the geometry is simulated. After the arc ignition pressure waves are generated due to the fast heating of the plasma. The wave is reflected at the splitter plates or the porous domain and hits the arc after about 25  $\mu\text{s}$  and produces the stagnation of the falling arc voltage.

After about 75  $\mu\text{s}$  the arc reaches the bottom of the splitter plates and the porous domain, respectively. The arc bends around the plates or rather pauses in front of the porous domain before it begins to subdivide.

The comparison between both simulations shows a similar behavior. However in case of the porous model the process of subdivision takes place faster than in case of the splitter plate model.

## **Untersuchungen zum Lichtbogenverhalten bei Impulsbelastung**

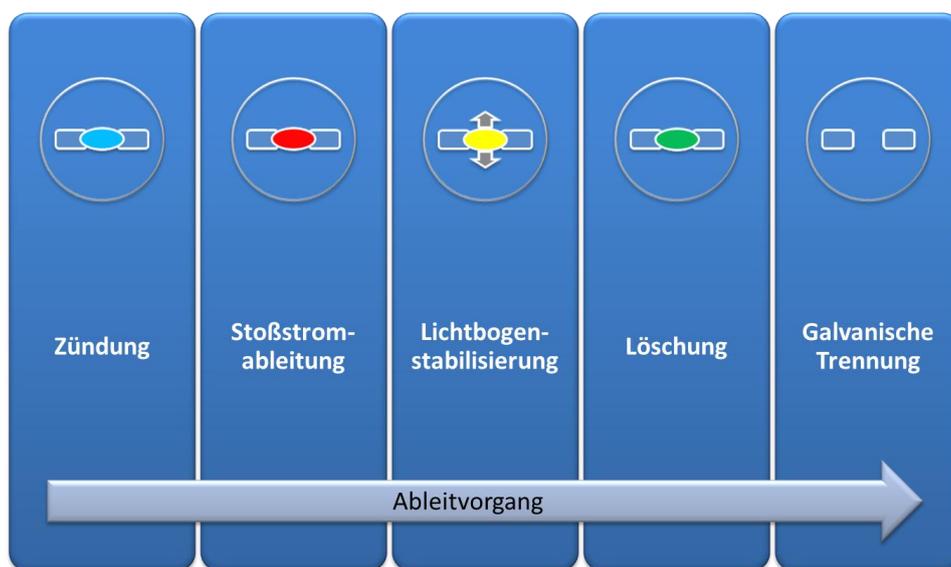
*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

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.

Ein Blitzstromableiter basierend auf der Funkenstreckentechnologie muss genau diese Belastungen beherrschen und den Lichtbogen löschen. Um das Verhalten einer Funkenstrecke bei einer Impulsbelastung mit nachfolgendem Netzstrom analysieren zu können, muss zuvor der

gesamte Ableitvorgang betrachtet werden. Hierzu wurde eine Verdeutlichung der unterschiedlichen Funktionsprinzipes erarbeitet (**Abbildung 34**).

Die **Abbildung 34** zeigt sehr deutlich die unterschiedliche Beschreibung eines Ableitvorganges. Dabei ist zu beachten, dass hierbei nicht im herkömmlichen Sinne geschaltet wird, sondern der Lichtbogen durch einen Überschlag zwischen den Elektroden zündet und der Vorgang des Impulses lediglich einige Mikrosekunden andauert. Die erste Phase wird hierdurch eingeleitet. Anschließend kommt es in Phase 2 zum eigentlichen Ableitvorgang des Impulsstromes. Der Lichtbogen wird durch die Wechselwirkung mit der Kammerwand stabilisiert sowie der Energieumsatz im Lichtbogen erhöht, der Leitwert sinkt (Phase 3). Dies führt zur Löschung des Lichtbogens und somit zur Phase 4. Abschließend muss die Galvanische Trennung wieder sichergestellt sein (Phase 5).



**Abbildung 34** - Funktionsprinzip eines Blitzstromableiters.

**Figure 34** - Operating principle of a surge protection device.

Im vergangenen Jahr sind gerade zur Phase 3 der Wechselwirkung des Lichtbogens mit der Umgebung verschiedene Versuchsreihen gelaufen. Ziel dieser Untersuchungen war die Beschreibung des Lichtbogens in engen Spalten bei transienten Vorgängen. Verschiedene Geometrien als auch Materialien gaben hierbei Aufschluss auf die Ausbreitung des Lichtbogens. Zukünftig sollen die Untersuchungen mit optischen Aufnahmegeräten weiter gefestigt werden.

## **Analysis of electric arc behavior by impulse load**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

In most switchgear and specially in spark dischargers, the electric arc is used as a switching device in order to achieve a separation in the system. In cases of current-limiting switching, to which spark dischargers belong, the electric arc voltage must be greater than the system voltage. Thus, the duration and amplitude of the short circuit current are limited in cases of alternate current.

A surge protection device based on spark discharge technology must be able to manage exactly these forces and to quench the electric arc. To analyze the behavior of the spark discharger with defined chamber by impulse load with subsequent system current, the complete arresting process must be first observed. Therefore, a clarification of the different functionality principles was prepared (**Figure 34**).

**Figure 34** clearly shows the different description of an operation process. One must observe, that in this case, this is no conventional switching, the electric arc ignites through a flash between the electrodes and lasts only for a few microseconds. The first phase is conducted in this manner. Next, in phase 2, the actual arresting of the impulse current takes place. The arc is stabilized by the interaction with chamber wall, in addition the energy expenditure in the electric arc is augmented, the conduction value decreases (Phase 3). This causes the extinction of the electric arc and leads to phase 4. The galvanic separation must be ensured subsequently (Phase 5).

Different studies were conducted last year concerning specifically phase 3 of the interaction of the electric arc with the environment. The goal of this research was to describe the electric arc in narrow columns through transient processes. Different geometric arrays and different materials produced information concerning the proliferation of the electric arc. This research is to be consolidated with optical imaging analysis in the future.

## **Experimentelle Untersuchung des Löschverhaltens von Gleichstromschaltgeräten für Niederspannungsanwendungen**

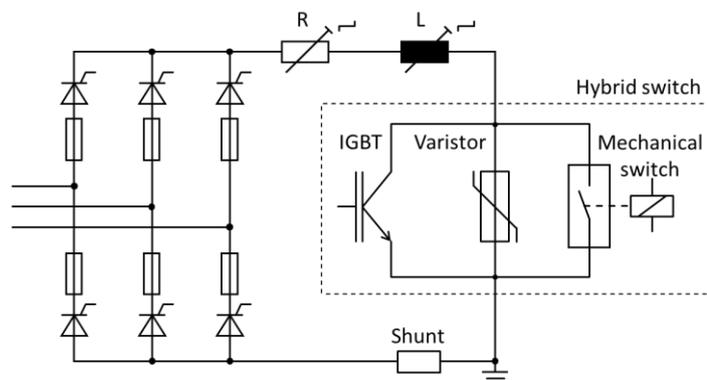
*Dipl.-Ing. Thorsten Schrank*

Gleichstromanwendungen gewinnen in der Energietechnik mehr und mehr Bedeutung. Mittels Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) können große Energiemengen über weite Entfernungen effizient übertragen werden. Im Bereich der Niederspannungstechnik sind als Anwendungen auf der Erzeugerseite Photovoltaiksysteme und Brennstoffzellen zu nennen.

Besonders durch die fortschreitende Entwicklung der Elektromobilität kommen in Zukunft auch verstärkt mobile Batteriespeicher zum Einsatz. Auf der Verbraucherseite arbeiten viele elektrische Geräte mit Gleichspannung, etwa in Rechenzentren, in der Industrie und selbst im Haushalt. Aus Effizienzgründen werden diese Verbraucher daher zunehmend aus lokalen DC-Netzen gespeist. Für die Sicherheit und zur Steuerung der elektrischen Anlagen werden leistungsstarke Gleichstromschaltgeräte benötigt.

Zum Schalten von Gleichströmen eignen sich unterschiedliche Verfahren, die sowohl auf elektromechanischen als auch auf leistungselektronischen Schaltprinzipien beruhen. Kombiniert kommen beide Möglichkeiten in Hybridschaltgeräten zum Einsatz, um die Vorteile beider Varianten zu vereinen. Dabei wird eine mechanische Schaltstrecke parallel zu einem Leistungshalbleiter betrieben. Zum Schutz vor Überspannungen werden Varistoren eingesetzt.

Die schematische Darstellung eines Hybridschalters im Prüfkreis zeigt **Abbildung 35**. Das Führen von betriebsmäßigen Lastströmen wird durch den mechanischen Schalter übernommen, der eigentliche Schaltvorgang wird durch das elektronische Schaltelement realisiert (hier: IGBT).



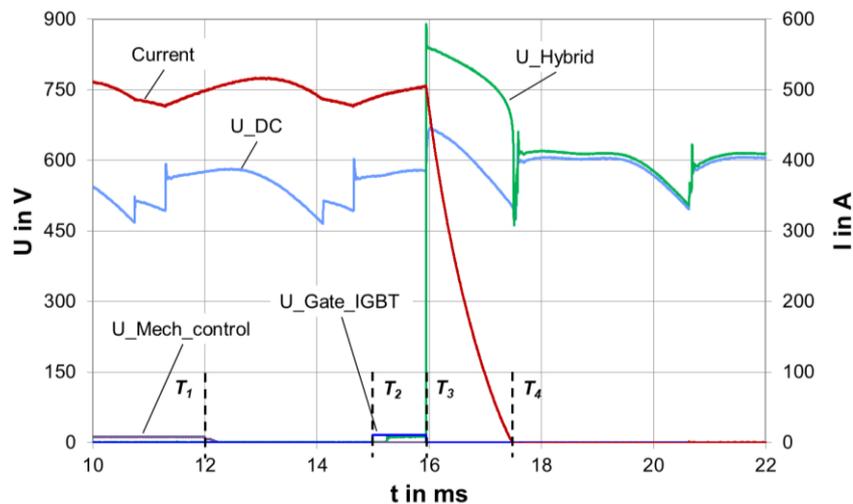
**Abbildung 35** - Prüfkreis mit Hybridschalter

**Figure 35** - Test circuit with hybrid switch

Ein Ausschaltvorgang des Hybridschalters bei 560 V und 500 A ist in

**Abbildung 36** dargestellt. Zum Zeitpunkt  $T_1$  wird die Steuerspannung des mechanischen Schalters unterbrochen, die Kontakte trennen sich jedoch erst nach Ablauf einer gewissen Schaltverzugszeit. Der IGBT wird zum Zeitpunkt  $T_2$  gezündet. Ohne dass es zu einem Schaltlichtbogen kommt öffnen kurz darauf die Kontakte des mechanischen Schalters, und der Strom kommutiert auf den Halbleiter. Die Spannung über der Hybridschalteranordnung wird auf die Durchlassspannung des IGBTs begrenzt. Nach Ausschalten des IGBTs zum Zeitpunkt  $T_3$  steigt die Spannung sprunghaft an und wird durch den Varistor begrenzt, der nun die Stromführung übernimmt. Der Strom sinkt und ist zum Zeitpunkt  $T_4$  unterbrochen.

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



**Abbildung 36** - Abschaltvorgang des Hybridschalters

**Figure 36** - Breaking process of the hybrid switch

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

*Dipl.-Ing. Thorsten Schrank*

The growing market of photovoltaic systems, fuel cells and especially high voltage batteries for electric vehicles lead to an increasing demand for dc switchgear. Electrical dc loads in data centers, industry applications and even in private households are more and more fed by local dc distribution network. Dc switches are needed for safety and control reasons. They can be realized as hybrid switches, which combine the advantages of both, electromechanical breakers and electronic switching devices.

A test circuit with a schematic arrangement of a hybrid switch is depicted in **Figure 35**. **Figure 36** shows a breaking process at 560 V and 500 A. At first the control voltage of the electromechanical switch is turned off ( $T_1$ ). The IGBT is fired just before the separation of the mechanical contacts begins ( $T_2$ ). After turning off the IGBT the current commutates to the varistors and the voltage of the hybrid switch increases. It is limited by the varistors and the current decreases to zero ( $T_4$ ).

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

### 3.5 Carbon-Scout

#### Ausgründung für Dienstleistungen am CO<sub>2</sub>-Markt

*Dipl.-Wirtsch.-Ing., MBA Benjamin Munzel*

Carbon-Scout startete 2008 als Forschungsprojekt in Kooperation mit den Stadtwerken München. Gegenstand war die Untersuchung der flexiblen Kyoto-Mechanismen für den Emissionshandel. Durch finanzielle Beteiligungen an Emissionsminderungsprojekten in Entwicklungsländern ist es Anlagenbetreibern in Europa, die dem Emissionshandel angeschlossen sind, möglich, die benötigten Emissionsrechte deutlich günstiger als am Markt zu beziehen. Sie können die Zertifikate von Projekten beziehen, die beispielsweise durch den Bau eines Windparks oder die Installation einer Abgasrückgewinnung in der Industrie Treibhausgasemissionen vermeiden.

Nachdem das Forschungsprojekt Ende 2010 abgeschlossen wurde, startete 2011 ein EXIST-Gründerstipendium für das Gründungsvorhaben. Anfang 2012 lief die Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aus und die Carbon-Scout Kommanditgesellschaft wurde in Braunschweig gegründet.

Der erste Kunde konnte im Rahmen des eigenen Messestandes auf der E-World energy & water im Februar 2012 in Essen für das Unternehmen begeistert werden. Für ein Stadtwerk in Sachsen-Anhalt mit einem eigenen Heizkraftwerk hat Carbon-Scout das CO<sub>2</sub>-Portfolio kurzfristig optimiert. Dadurch konnten risikolose Einnahmen unmittelbar generiert werden bei gleichzeitiger Erfüllung der Abgabepflicht von Emissionsrechten. Darüber hinaus hat das Stadtwerk in diesem Zusammenhang die Vermeidung von Distickstoffmonoxid-Emissionen in einer südkoreanischen Nylonfabrik unterstützt.



**Abbildung 37** - Messestand auf der E-World  
**Figure 37** - Stand at the E-World 2012

Heute bietet Carbon-Scout Dienstleistungen in den Bereichen „Effizienter Klimaschutz und unternehmerische Nachhaltigkeit“ an. Neben der professionellen Unterstützung von Anlagenbetreibern, die zum Emissionshandel verpflichtet sind, ist Carbon-Scout auch auf dem freiwilligen Klimaschutzmarkt aktiv. Hier arbeitet man an Nachhaltigkeitskonzepten, CO<sub>2</sub>-Bilanzierungen und Klimaneutralität für Unternehmen.

Nähere Informationen über das Spin-Off Unternehmen sind auf der Internetseite [www.carbon-scout.com](http://www.carbon-scout.com) zu finden.

### **Spin-off company for services on the carbon market**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing., MBA Benjamin Munzel*

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. After the project was finalized in late 2010 it was funded by the federal ministry of economics and technology in 2011. In 2012 Carbon-Scout was established as a company.

At the trade fair E-World energy & water in February 2012 the first client was acquired. A regional energy provider operating a combined heat and power station entrusted Carbon-Scout with the optimization of its carbon credit portfolio. In doing so, risk-free immediate revenues could be generated while the energy provider funded a project in South Korea avoiding emissions of nitrous oxide in a nylon factory.

Today, Carbon-Scout offers consulting services in the area of “effective emission reduction and corporate sustainability”. In addition to the professional support of compliance companies, Carbon-Scout also serves voluntary carbon markets. This includes sustainability concepts, carbon accounting and carbon neutrality.

For further information visit [www.carbon-scout.com](http://www.carbon-scout.com).

### 3.6 Dissertationen – Dissertations

#### **Analyse von Leistungssalden zur Gestaltung einer nachhaltigen Stromversorgung mit Energiespeichern**

*Gunnar Bärwaldt*

Tag der mündlichen Prüfung: 28.11.2012

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

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

Vorsitzender: Prof. Dr. Thomas S. Spengler

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Analyse von Leistungssalden zur Gestaltung einer nachhaltigen Stromversorgung mit Energiespeichern“ beschäftigt sich mit der künftigen Entwicklung der Stromversorgung in Deutschland und beleuchtet, inwieweit diese durch Nachhaltigkeit geprägt ist.

Einleitend werden die Problemstellung und Zielsetzung für diese Arbeit umrissen. Anschließend erfolgt eine Analyse des gesellschaftspolitischen Rahmens. Ausgehend von einer Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs werden energiepolitische Maßnahmen an den vereinbarten nationalen und internationalen Zielen gespiegelt und münden in eine Einschätzung über die Zielerreichung.

Darauf aufbauend folgt eine systematische Betrachtung der Entwicklungen in der Stromversorgung in Deutschland für den Zeitraum bis zum Beginn der Förderung erneuerbarer Energie im Jahr 1990 sowie daran anschließend für die Zeit bis zum Jahr 2010. Diese macht deutlich, welche Veränderungen sich seit 1990 mit Blick auf die Nutzung erneuerbarer Energien ergeben haben. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Stromerzeugungsmengen aus erneuerbaren Quellen bis zum Jahr 2050 abgeschätzt. Als Konsequenz aus den Betrachtungen wird eine neue Terminologie für die Einteilung von Erzeugungskapazitäten entworfen und eine Methodik zur Beschreibung von Leistungszeitreihen vorgestellt.

Für das Verständnis erforderlich ist die Systematisierung und Analyse der künftigen Entwicklung der Stromversorgung. Ein Schwerpunkt der Untersuchungen ist hierbei die Beschreibung der Auswirkungen von erneuerbaren Energieanlagen auf das Gesamtenergiesystem Deutschlands. Während Zeitabhängigkeit und Amplitude der Leistung im Mittelpunkt stehen, sind anschließend die Häufigkeit und Amplitude von Schwankungen in den generierten Zeitreihen der Untersuchungsgegenstand. Dabei wird untersucht, inwieweit dargebotsabhängige Erzeugungsanlagen die Charakteristik der Leistungszeitreihe beeinflussen.

Die Beschreibung der Zeitreihencharakteristik ist Ausgangspunkt für die Entwicklung positiver, systemfreundlicher Veränderungen durch den Einsatz von Speichern für elektrische Energie. Grundsätzlich wird makroskopisch betrachtet, welcher Speicherbedarf sich für das Versorgungsgebiet Deutschland ergibt. In der Folge wird am Beispiel eines Photovoltaik-Speichersystems ein Betriebskonzept für diese Art von Speichersystemen entworfen und deren Auswirkung auf das Versorgungsgebiet Deutschland extrapoliert.

Im Ergebnis wird diese Arbeit einen begründeten Nachweis darüber liefern, dass Speichertechnologien geeignet sind, die Integration erneuerbarer Energieanlagen in die Stromversorgung zu unterstützen und damit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten.

Der Ausblick greift mögliche künftige technische Entwicklungen auf, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erkannt wurden, deren vertiefende Betrachtung in dieser Arbeit jedoch nicht möglich ist. Eine zukunftsweisende Untersuchung ist nur auf Basis einer Vielzahl von getroffenen Annahmen durchführbar. Auf diese Unsicherheiten geht die sich anschließende kritische Würdigung ein.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse. Im Anhang werden zudem grundlegender Methoden beschrieben, die zum Verständnis der Gesamtthematik beitragen.

### **Analysis of power balances to design a sustainable power supply with energy storage systems**

*Gunnar Bärwaldt*

This thesis, titled “Analysis of power balances to design a sustainable power supply with energy storage systems”, examines the future development of electricity supply in Germany and the extent to which it is sustainable.

The paper begins with a presentation of the current challenges and describes the objectives of the thesis, followed by an analysis of the socio-political conditions. Based upon a definition of sustainability, the effectiveness of recent energy legislation measures is critically reflected and compared against national and international political targets.

The thesis continues by examining the development of the German electricity market until 1990, when electricity produced from renewable resources first appeared in the German market. In the following, the time period from 1990-2010 is analyzed, highlighting the changes

made to implement renewable energy sources. The thesis estimates the amount of electricity generated from various renewable sources until 2050. Based upon the observations, a new model is proposed to plan and schedule generation capacities together with a new method for characterising time series load curves.

In the following, the future development of electricity supply is investigated. The research focuses on forecasting the impact of renewable energy plants on Germany's entire energy system. While time dependency and load amplitude are analyzed first, there is a main focus on the evaluation of frequency and amplitude of fluctuations of the generated time series in a second step. The thesis examines the extent to which power plants that produce electricity from supply-dependent renewable sources affect the load curve characteristics.

The description of the time series load characteristic is the starting point for the design of improvements to electrical supply systems through the employment of energy storage solutions. The thesis remains macroscopic in its scope to determine the nature and extent of energy storage required by the German grid. Subsequently, a concept for the operation of a photovoltaic energy storage system is derived that serves as a model for such storage systems. Its effect on the German power grid is extrapolated.

The results of this work provide significant evidence of the usefulness of energy storage technologies to integrate renewable power generating plants into the power grid and their ability to make a significant contribution to electricity becoming more sustainable in the future.

The outlook chapter derives selected possible future technical developments. A more in-depth examination of these findings, however, is not possible within the scope of this thesis. Undoubtedly, such research and forecasting of future developments is based on numerous assumptions and thus uncertainties, which are addressed in the critical review at the end of this work.

The thesis closes with a summary of the findings. The appendix provides an explanation of the applied basic methods, which are of significant use to an in-depth understanding of the subject.

## **Experimentelle Untersuchung des Hochstrom-Vakuumbogens auf Transversal-Magnetfeld-Kontakten**

*Christian Wolf*

Tag der mündlichen Prüfung: 04.12.2012

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
  2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen, TU Darmstadt
  3. Prüfer: Prof. a. D. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer
- Vorsitzender: Prof. Dr. Achim Enders

Im Bereich der Mittelspannungstechnik werden heutzutage überwiegend Vakuumleistungsschalter eingesetzt. Eine der hierbei verwendeten Kontaktbauarten ist der Transversal-Magnetfeld-Kontakt, welcher durch Kontaktdesign und Stromfluss ein magnetisches Feld erzeugt, das wiederum eine Lorentzkraftwirkung auf den beim Schalten entstehenden Lichtbogen nach sich zieht. Ziel der Hersteller und Forschungsinstitute ist es, zukünftig das Verhalten des Vakuumbogens in 3D-Computersimulationen abzubilden, bzw. vorherzusagen. Für einen Vergleich der Rechenergebnisse bedarf es umfangreicher experimenteller Untersuchungen.

In der vorliegenden Arbeit werden experimentelle Untersuchungen des Vakuumbogens bei Ausschaltungen mit einem Vakuumversuchsschalter mit effektiven Stromstärken bis zu 60 kA vorgestellt. Hierbei werden Ergebnisse mit den beiden grundsätzlichen Kontaktgeometrien Spiralkontakt und Topfkontakt, wie sie auch in industriellen Schaltkammern verwendet werden, unterschieden. Stromstärke, Kontaktdurchmesser und Kontakthub stellen innerhalb der Versuchsreihen die Versuchsparameter dar.

Der Vakuumbogen wird bei den Versuchen aus zwei Perspektiven mit einer digitalen Schnellfilmkamera optisch aufgezeichnet, so dass eine dreidimensionale Vorstellung des Bogens im Kontaktpalt erzielt werden kann. Die Präsentation und Diskussion exemplarischer Aufnahmen des Bogenlaufs in Verbindung mit Strom- und Bogenspannungsverlauf und der aus den Aufnahmen abgeleiteten Kenngrößen des Vakuumbogenverhaltens bilden den Hauptteil der Arbeit. Als Kenngrößen werden Bogengeschwindigkeit, Fußpunktstromdichte und Rotationszahl betrachtet.

Ein an die in den Experimenten verwendeten Kontaktgeometrien angepasstes 3D-FEM-Simulationsmodell dient zur statischen Berechnung der Lorentzkraft auf den Vakuumbogen. Hierbei werden u.a. unterschiedliche Bogenpositionen im Kontaktpalt diskutiert und mit den experimentellen Ergebnissen verglichen.

Zur berührungslosen Bestimmung der Schaltkontakttemperatur bei Stromnull werden abschließend zwei verschiedene optische Messmethoden vorgestellt und deren Messmöglichkeit theoretisch und anhand von orientierenden Messungen diskutiert.

## **Experimental Investigation of High-Current Vacuum Arcs on Transverse-Magnetic-Field Contacts**

*Christian Wolf*

The vacuum breaker is the main interruption technology in the medium voltage area and is still gaining importance with regard to environmental concerns. The transverse magnetic field (TMF) contact, which is the common electrode design, generates a Lorentz-force acting to the vacuum arc due to a self-induced magnetic field created by the breaking current. By means of theoretical arc models one main target of several research projects is a software simulation of current interrupting processes, for which more experimental results as comparison are essential.

This work presents experimental investigations on the vacuum arc behavior at high-current interrupting operations using a vacuum test breaker. The interrupted currents are limited to 60 kA<sub>RMS</sub>. The tests are carried out with contact samples according to the two general TMF-contact designs, i.e. the spiral-shaped contact and the cup-shaped contact. Within the test series current, contact diameter and contact stroke are varied. The arcing behavior is recorded by means of a digital high-speed camera from two perspectives to achieve a three-dimensional impression of the plasma appearance. A presentation and discussion of these recordings in comparison with current and arc voltage is the main part of the work. The parameters arc velocity, current density on anode and cathode as well as rotation numbers are derived from the optical recordings.

Using 3D FEM models according to the contact sample geometry the magnetic field and Lorentz force acting to the arc are calculated statically. Simulations are shown for different arc positions and compared to the experimental results.

To determine the contact temperature at current zero two different non-contact measurement principles are presented. The feasibility of these optical measuring methods is discussed theoretically and by means of indicative measurements.



## 4 Besondere Ereignisse 2012 - Special Events 2012

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

### 4.1 Kalender der besonderen Ereignisse

#### 12.01.

EFZN Vorstandssitzung

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 15.01.

Forschungskooperation mit UFF Brasilien

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, P.*

*Gronstedt*

#### 17.01.

Stiftung Ingenieurkammer, Preisverleihung  
an M. Pielke, HCC Hannover

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Pielke*

#### 23.01.

Vortrag "Current and future challenges for  
grid integration from the perspective of the  
solar economy", 2nd Inverter and PV Sys-  
temTechnology Forum 2012, Solarpraxis,  
Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 23.01.

VDE Vorstandssitzung

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 27.01.

EFZN Kuratoriumssitzung, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 30. - 31.01.

Exkursion zu Phoenix Contact

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Schottel, M.  
Hilbert, O. Binder*

#### 01.02.

FNN Task Force Umbau der Netze, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 07.02.

Geliebt, gefördert – zukunftsfähig?, Streit  
um Solarenergie, Braunschweiger Energie-  
café

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 07.02.

eHome2020-Projekttreffen, Zwischenprä-  
sentation, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, M. Bunk*

#### 08.02.

Vortrag „Stromtrassen der Zukunft“, VDE  
in Bewegung, Hochspannungshalle des  
elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 09.02.

Vortrag "Ancillary Services of the Solar  
Inverter for more PV in the Grid", 2nd  
European American Solar Deployment  
Conference, Boston

*Teilnehmer: B. Engel*

**12. - 14.02.**

CIGRE Meeting WG D1.27 und WG  
B2.21

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert*

**14.02.**

Netzplattform AG Systemsicherheit beim  
BMW, Vortrag Spannungshaltung und  
Blindleistungsmanagement im Verteilnetz

*Teilnehmer: B. Engel*

**14. - 15.02.**

9th Symposium Hybrid- und Elektrofahr-  
zeuge

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**15.02.**

Besuch Prof. Gubanski zur Forschungs-  
kooperation

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert*

**15. - 17.02.**

Netze im Zeichen der Energiewende,  
CIRED/CIGRE, Köln

*Teilnehmer: P. Gronstedt*

**16.02.**

Studienseminar WS 2011/12, am elenia

*Teilnehmer: Alle*

**23.02.**

10 Jahre Inselnetze mit Sunny Island  
– ein Vorbild für die Netzsystemdienstleis-  
tungen durch dezentrale Erzeugung mit  
Erneuerbaren Energien, Kolloquium zur  
Inbetriebnahme Energiepark der Ostfalia  
Hochschule Wolfenbüttel

*Teilnehmer: B. Engel, F. Soyck*

**27.02.**

FNN Task Force DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**01.03.**

Treffen RWE Leistungsschalter

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**01.03.**

EMRP-Treffen, am elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06. - 07.03.**

Tagung ZIEHL III

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Blaz*

**07.03.**

Treffen mit der TU Oldenburg (Prof. Son-  
nenschein), Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**09.03.**

Gründung Carbon Scout KG

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Munzel*

**16.03.**

Technik-Dialog der Bundesnetzagentur,  
Speichertechnologien

*Teilnehmer: E.-D. Wilkening*

**22.03.**

Impulsvortrag „Einspeisemanagement für  
PV-Kleinanlagen“ Fachforum 3: Dezent-  
rale Erzeugung und Energiemanagement,  
Göttinger Energietage

*Teilnehmer: B. Engel*

**26. - 30.03.**

Chalmers Energy Conference, Göteborg  
*Teilnehmer: M. Kurrat, E.-D. Wilkening*

**10.04.**

SmartNord-Initialisierung, Oldenburg  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, P. Gronstedt, A. Dammasch*

**16.04.**

Weiterbildung  
*Teilnehmer: Alle*

**16.04.**

Light+Building, Frankfurt  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**16.04.**

Jahreshauptversammlung VDE Sitzung  
Erwin-Marx, am elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**25.04.**

Vortrag "Wechselrichter in der Photovoltaik - Die 50,2 Hz-Thematik", Forum Life needs power auf der Hannover Messe Industrie, Podiumsdiskussion zu Speicherbedarf bei hohem EE-Anteil  
*Teilnehmer: B. Engel*

**25.04.**

„Forum Erneuerbare Energien“ auf der Hannover Messe Industrie, Podiumsdiskussion zu "Demand-Side-Management als Beitrag zur Integration Erneuerbarer-Energien"  
*Teilnehmer: B. Engel*

**26.04.**

Vortrag „Herausforderungen der Energiewende“, TectoYou Reihe auf der Hannover Messe, Hannover  
*Teilnehmer: P. Gronstedt*

**26.04.**

Institutsausflug Schloss Marienburg und Straßenbahn-Museum  
*Teilnehmer: Alle*

**02. - 04.05.**

Besuch Dr. Chrzan zur Forschungskooperation  
*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, B. Schottel*

**03.05.**

Vortrag „Elektromobilität und deren Chancen / Herausforderungen für die Energieversorgung“, Technologieforum PTB/TU BS, Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt*

**08. - 10.05.**

Technische Akademie Esslingen  
*Teilnehmer: M. Hilbert*

**08. - 10.05.**

PCIM in Nürnberg  
*Teilnehmer: O. Binder, J. Meisner*

**15.05.**

Ringvorlesung am elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14. - 18.05.**

ICEC in Beijing  
*Teilnehmer: J. Rütther*

**21.05.**

FNN Task Force DEZ

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**27.05.**

Sitzung Forum FNN. Wahl von Prof. Engel in den Vorstand

*Teilnehmer: B. Engel*

**29. - 31.05**

Pfingstexkursion nach Hamburg

*Teilnehmer: B. Engel, B. Schottel, O. Binder, D. Unger*

**06.06.**

Antrittsvorlesung Prof. Engel

*Teilnehmer: Alle*



**08. - 09.06.**

Wochenendseminar Weiterbildung Strategietreffen

*Teilnehmer: Alle*



**12.06.**

Vortrag „Intelligente Ortsnetzstationen im aktiven Verteilungsnetz“, Schalterfachtagung, Ratingen

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.06.**

Präsentation „VDE-Studie: Ein notwendiger Baustein der Energiewende: Demand Side Integration – Lastverschiebungspotenziale in Deutschland“, Berlin

*Teilnehmer: P. Gronstedt*

**14.06.**

BLB-Vollversammlung

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**15.06.**

Vortrag „Technologien zur PV-Netzintegration“, PV Energy World, Inter-solar 2012, München

*Teilnehmer: B. Engel*

**18.06.**

Gründung Forschungsallianz Batterie & Elektrochemia, Kick-Off GEENI, Haus der Wissenschaften Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**19.06.**

„Netzsystemdienstleistungen der Solar-Wechselrichter für mehr Photovoltaik im Netz“, VDI Spezialkonferenz Netzanbindung und Netzintegration von Erneuerbaren Energien, Karlsruhe

*Teilnehmer: B. Engel*

**20.06.**

FNN Task Force DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**25.06.**

VDE-Vorstandssitzung

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**26.06.**

Besichtigung der Ultramet-Versuchsstrecke  
in Datteln

*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, V. Ermel, O. Binder, J. Meisner, M. Blaz, M. Hilbert, I. Gramberg, B. Schottel, S. Laudahn, H. Köpf, U. Westerhoff und sechs Studierende*

**30.06.**

TU Night

*Teilnehmer: B. Engel, M. Bunk, O. Binder, J. Rütther, M. Blaz, I. Gramberg, S. Puzankov, E.-D. Wilkening*

**02.07.**

Kolloquium Universität Kiel, „Mehr Photovoltaik im Netz durch moderne Wechselrichter,“

*Teilnehmer: B. Engel*

**04.07.**

Sicherheitsunterweisung

*Teilnehmer: Alle*

**05. - 07.07.**

Symposium Elektromobilität + Einweihung Batterietestzentrum VDE

*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, U. Westerhoff*

**06.07.**

Vortrag Fachforum Smart Grids, BMWi

*Teilnehmer: F. Funck*

**09.07.**

Isolierstoffkolloquium, Aachen

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**10.07.**

Doktorprüfung A. Mashkin, Aachen

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.07.**

SmartNord: Treffen der AG-Leiter, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.07.**

EFZN Vorstandssitzung, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.07.**

Doktorprüfung O. Lünsdorf, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt*

**12.07.**

Kick-Off LithoRec 2

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.07.**

Smart Nord, Statusseminar, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**13.07.**

Vortrag (Prof. Kurrat) „Strommarkt“,  
SmartNord Summer School, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, P. Gronstedt, D. Unger, A. Dammasch, N. Hemdan*

**16.07.**

Besuch Next Energy, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**16.07.**

Vortrag „Integration von dezentralen Stromerzeugungseinheiten in das elektrische Verteilnetz“, Physikalisches Kolloquium, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**17.07.**

Semesterabschlussgrillen

*Teilnehmer: Alle*

**18.07.**

FNN Task Force DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**31.07.**

Verabschiedung Fr. Wahl und Hr. Schmidt

*Teilnehmer: Alle*

**31.07.**

Abstimmung EMRP Fortführung

*Teilnehmer: M. Kurrat, H. Meisner*

**16.08.**

Ausflug AG Energiesysteme Wolfenbüttel

*Teilnehmer: B. Engel, M. Bunk, A. Damasch, F. Funck, P. Gronstedt, H. Haupt, S. Laudahn, F. Soyck, D. Unger*

**22.08.**

FNN Task Force DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**22.08.**

Vortrag „Zukunftspotentiale von Energiespeichern in Norddeutschland“, BDEW, Parlamentarischer Abend, Kiel

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**24.08.**

Besuch VDE Institut Offenbach (Dr. Goldbeck, Dr. Guetif)

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**26. - 31.08.**

Vortrag (Prof. Kurrat) “Electrical Insulation for HTS Power Equipment”, Cigre 2012 Session, Paris

*Teilnehmer: M. Kurrat, E.-D. Wilkening*

**02. - 07.09.**

ISDEIV 2012, Tomsk

*Teilnehmer: E.-D. Wilkening, I. Gramberg, S. Puzankov*

**02. - 07.09.**

Beijing Tagung, Gas Discharge 2012

*Teilnehmer: M. Hilbert, B. Schottel*

**03. - 07.09.**

ICLP, Wien

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**04.09.**

Vortrag „Systemdienstleistungen auf Verteilnetzebene“, BMU-Strategiegespräche Regenerative Energieversorgungssysteme, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**06.09.**

Studienseminar SS 2012, Haus der Wissenschaften Braunschweig

*Teilnehmer: Alle*

**10.09.**

Vortrag „Anforderungen an dezentrale Speicher aus Sicht der Wissenschaft“, FNN Workshop „Speicher“ Berlin,

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.09.**

SmartNord, Szenariendefinition, Hannover

*Teilnehmer: M. Kurrat, A. Dammasch*

**11.09.**

Kuratorium EFZN, Ministerium für Wissenschaft und Kultur, Hannover

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.09.**

NFF Vorstandssitzung, Wolfsburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.09.**

Doktorandenseminar

*Teilnehmer: Alle*

**12.09.**

Grundsteinlegung NFF-Neubau, Forschungsflughafen Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**21.09.**

Aufbau der SMART Kitchen

*Teilnehmer: F. Funck, J. Rüter, I. Gramberg, U. Westerhoff, H. Köpf, S. Laudahn, M. Hilbert, C. Ryll*

**23. - 26.9.**

58th IEEE Holm Conference, Portland, USA

*Teilnehmer: E.-D. Wilkening*

**24.09.**

“Photovoltaic Systems”, 6th Seminar of Energy Efficiency, Sustainable Development and Renewable Energy, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel*

**24. - 28.09.**

Summer School 2012 Brennstoffzelle und Batterietechnologie

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**24. - 26.09.**

Besuch Dr. Darwanto zur Forschungskooperation

*Teilnehmer: M. Hilbert, I. Gramberg, H. Köpf, D. Kind*



**25.09.**

Energiecafé, HDW: Stromtransport

*Teilnehmer: F. Funck*

**29.09.**

Hochschulübergreifende Weiterbildung:  
"Drittmittel erfolgreich einwerben"  
*Teilnehmer: U. Westerhoff, D. Unger, O. Binder*

**24.09. - 04.10.**

6. Energy Seminar für Brasilianer  
*Teilnehmer: B. Engel, P. Gronstedt*

**07. - 12.10**

Applied Superconductivity Conference  
ASC 2012, Portland, USA  
*Teilnehmer: M. Blaz*

**08.10.**

VDE Vorstandssitzung  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**09.10.**

4. Symposium Lithium-Ionen-Batterien -  
Test und Qualifizierung  
*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**10.10.**

Cigré Meeting D1.38, Portland, USA  
*Teilnehmer: M. Blaz*

**10.10.**

Doktorandenseminar  
*Teilnehmer: Alle*

**10. - 11.10.**

EMRP ENG07 Metrology for HVDC - 2nd  
Year Meeting in Istanbul  
*Teilnehmer: V. Ermel, O. Binder*

**15.10.**

Erstsemestergrillen der VDE Jungmitglie-  
der am elenia  
*Teilnehmer: Alle*

**17.10.**

Netze im Zeichen der Energiewende,  
CIRED/CIGRE, Köln  
*Teilnehmer: P. Gronstedt*

**17.10.**

Zuerkennung des ETG Literaturpreises  
2012 an Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Phillip  
Gronstedt, Köln  
*Teilnehmer: P. Gronstedt*

**18.10.**

5. Niedersächsische Energietage 17./18.  
Oktober 2012, Goslar  
Moderation des Fachforums "Zukünftige  
Speichertechnologien" durch Prof. Kurrat  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, P. Gronstedt, F. Soyck, A. Dammasch, D. Unger, M. Bunk*

**18.10.**

Vortrag „Ausgleich zwischen Stromerzeu-  
gung und -verbrauch durch (dezentrale)  
Speicher“, 5. Niedersächsische Energietage  
17./18. Oktober 2012, Fachforum 4: Zu-  
künftige Speichertechnologien  
*Teilnehmer: B. Engel*

**19.10.**

Vortrag "Umbau Netze – Herausforderun-  
gen", Workshop zur Vorbereitung der För-  
derinitiative "Zukunftsfähige Stromnet-  
ze" im BMWi, Bonn  
*Teilnehmer: B. Engel*

**19.10.**

Workshop PMO, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Schottel, M.*

*Bunk, F. Funck, K. Rach, F. Soyck*

**29.10.**

Kick-Off-Veranstaltung Fleets go green,

Wasserwerk Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, H. Haupt*

**30.10.**

Vortrag "Netzdienliche dezentrale Speicher für den Erfolg der Energiewende",  
ICBP2012 Berlin-International Conference  
on Building Performance

*Teilnehmer: B. Engel*

**30.10.**

SmartNord Abstimmungstreffen, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt, D.*

*Unger*

**31.10.**

Jahreshauptversammlung VDE BV BS

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**02.11.**

Absolventenfeier, TU Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff, H.*

*Köpf, F. Funck*

**05.11.**

Sitzungsleitung Technologie/Leistungselektronik, VDE-Kongress  
Smart Grid – Intelligente Energieversorgung  
der Zukunft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**07. - 08.11.**

Seminar Niederspannungs-  
Gleichstromnetze, Erlangen

*Teilnehmer: H. Köpf, B. Munzel, T.*

*Schrank*

**09.11.**

Energietechnisches Symposium/ Ehemaligentreffen,  
Haus der Wissenschaft Braunschweig

*Teilnehmer: Alle*

**15.11.**

Besuch Herr Kampsen, BdEW, Bewertung  
der Flexibilitäten von Stromerzeugungs-  
und KWK-Anlagen

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**19.11.**

Vortrag „Wechselwirkung von Netz und  
Photovoltaik-Anlage“, Fachtagung Netzan-  
schluss von PV-Anlagen, Regensburg

*Teilnehmer: B. Engel, B. Ernst (SMA)*

**19.11.**

FNN, Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**20.11.**

Forum Energie, Einladung von Mc. Allister,  
LUH

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**21.11.**

BSW-Solar-Mitgliederversammlung mit  
Vortrag „Das Marktanzreizprogramm für  
Netzspeicher“

*Teilnehmer: B. Engel*

**22.11.**

Vortrag „Anforderungen an das deutsche Stromnetz der Zukunft mit steigendem PV-Anteil“, Forum Solarpraxis, Berlin  
*Teilnehmer: B. Engel*

**22.11.**

1. Mentorentreffen  
*Teilnehmer: M. Kurrat, S. Puzankov, U. Westerhoff, D. Hauck*

**27.11.**

Studentische Exkursion zu Phoenix, Blomberg  
*Teilnehmer: M. Kurrat und andere*

**28.11.**

Reform des EEG – Politischer Dialog „Photovoltaik – Auf dem Weg zur Marktfähigkeit“, BMU  
*Teilnehmer: B. Engel*

**28.11.**

Doktorprüfung G. Bärwaldt  
*Teilnehmer: Alle*

**30.11.**

FNN Task Force DEZ, Berlin  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**04.12.**

Doktorprüfung C. Wolf  
*Teilnehmer: Alle*

**05.12.**

Doktorprüfung C. Roggendorf, Aachen  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**05.12.**

TP-Leiter-Runde, LUH  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06.12.**

Fünf Jahre NFF, Jubiläumsveranstaltung, Wolfsburg  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06.12.**

TP3 SmartNord, LUH  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, P. Gronstedt, D. Unger*

**07.12.**

DKE/AK 124.0.6, 4. Sitzung, Frankfurt  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.12.**

Vorlesung Prof. Engel an der Kinder-Uni der TU Braunschweig mit dem Thema „Wie kommt der Strom in die Steckdose“  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Soyck*

**10. - 11.12.**

Workshop " Energy storage systems " der PTB, Berlin  
*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**12.12.**

NFF Workshop, 2. Tag, Wöltingerode  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**19.12.**

NFF Vorstandssitzung, Wolfsburg  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**20.12.**

BLB Vollversammlung

*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff, D.*

*Hauck*

**20.12.**

Betriebsversammlung und Weihnachtsfeier

*Teilnehmer: Alle*

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

### Impressions of an exchange student from UFF in Brazil

*Bernard Barbosa da Silva*

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

This semester exchange in the Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (Elenia) of Technische Universität Braunschweig was definitely some of the best days in my life. Not only could I improve my knowledge and techniques for my professional career as an Engineer, but also I have made good friends from all over the world, with different cultures and ways of dealing with life.

During these six and a half months, I could work as a research assistant for the Institute on my Bachelor thesis and successfully accomplish my aims and obligations. I have got some good results and hopefully these results and data will help the next ones that are going to work in the same area as I did.



**Abbildung 38** - Arbeit am Testaufbau

**Figure 38** - Working at the trial

Moreover, I could also enjoy my free time traveling around Europe. Over the time I was doing the exchange, I travelled to six different countries and many cities. It is amazing to have the opportunity to get to know the cradle of the occidental civilization, places that have so much history within.

I would like to thank my host, Univ. Prof. Dr. Michael Kurrat, and my supervisor/advisor, Michael Hilbert, for the opportunity to work and learn in a great Institute in the Technische Universität Braunschweig. Also, I would like to thank everyone in Elenia Institute, especially

Phillip Gronstedt, and Prof. Paulo Pfeil from Universidade Federal Fluminense for the opportunity to take part in this exchange.

### **Institutsausflug Schloss Marienburg und Straßenbahn-Museum**

*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 eintägigen Reise war das von 1857 – 1867 erbaute Schloss Marienburg im Landkreis Hildesheim.



**Abbildung 39** - Institutsausflug Schloss Marienburg und Straßenbahn-Museum

**Figure 39** - Excursion to Schloss Marienburg and the museum of electric tramways

Wir starteten unsere Tour am 26.04.2012 in Braunschweig um 9:00 Uhr. Die Anreise erfolgte per Bus und verlief ohne Stau, so dass unser Programm am Schloss Marienburg pünktlich um 10:00 Uhr beginnen konnte. Im Anschluss an die sehr interessante und kurzweilige Führung durch eine Mitarbeiterin der hiesigen EAC GmbH konnten die Teilnehmer das Angebot nutzen, den Turm des Schlosses zu besteigen. Oben angelangt wurden die Anstrengungen des Aufstieges mit einem herrlichen Blick über die Region Hannover bei bestem Wetter entschädigt. In Erinnerung bleibt hierbei sicherlich auch die „steife Brise“ auf der Turmplattform.

Gegen 13:00 Uhr, nach einer kurzen Mittagspause, bestiegen wir erneut den Bus um zu unserem zweiten Ausflugsziel zu gelangen. Hierbei sollte es sich, wie zuvor von den Institutsangehörigen gewünscht, um die Technik drehen. Aus diesem Grunde vereinbarten wir eine Führung durch das Straßenbahnmuseum Sehnde. Viele interessante Anekdoten des Mitarbeiters vor Ort sowie eine kurze Straßenbahnfahrt durch den Wald ließen auch diesen Aufenthalt wie im Fluge vergehen.

Unsere Rückreise nach Braunschweig traten wir gegen 14:30 Uhr an, um den Tag mit einem Grillfest (vielen Dank an die vielen Helfer!) am elenia fortzuführen. Die Teilnehmer der Exkursion bekamen Gesellschaft durch eine Vielzahl von Studierenden und ließen so gemeinsam den Tag in einer angenehmen Atmosphäre ausklingen.

### **Excursion of the Institute**

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

This year, the institute visits with his members the Marienburg castle and tram museum in the Hannover Region. All staff and alumni as well as some students were invited.

We started our journey on the 26th April. First we visited the castle. We were given a guided tour and had the opportunity to climb the tower. After visiting the castle, we went to the tram museum. We heard some interesting anecdotes about the history of trams. The visit was concluded by a tram ride through the forest.

Completed was the day with a Barbecue at the Institute with all the participants and a variety of students.

## TU-Night 2012 – Die Wissenschaftsnacht

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

In diesem Jahr gab es nicht wie gewohnt, den Tag der offenen Tür der Technischen Universität Braunschweig unter dem Namen TU-Day. Stattdessen wurde aus dem Tag eine Wissenschaftsnacht um noch mehr Menschen für die Aktivitäten der Technischen Universität begeistern zu können.

Das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia präsentierte sich wie gewohnt mit einem Stand in der Schleinitzstraße, auf dem diverse Exponate über die Forschungsarbeit am elenia informierten und zum Anfassen und Erforschen einluden.

Darüber hinaus brachten Mitarbeiter des Instituts den TU-Night-Besuchern weitere elenia-Forschungsthemen nahe, die mit Bild und Schrift in Form von Postern präsentiert worden sind. Auch Studieninteressierten gab 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. Diese waren wie immer heiß begehrt, so dass die Karten bereits am Anfang der TU-Night vergeben waren.

Dadurch bestand die Hauptaufgabe der Wissenschaftlichen Mitarbeiter in der Halle weniger im Präsentieren der Experimente sondern darin, genug Gehörschutze für die zusätzlichen Interessierten aufzutreiben die sich auch ohne Eintrittskarte das Spektakel ansehen wollten. Die meisten konnten noch in der Versuchshalle untergebracht werden, so dass auch ihnen Überschlüge an Isolatoren, der Lichtenberg-Versuch, der Betrieb des Tesla-Transformators und die Supraleiterbahn (**Abbildung 40**) vorgeführt werden konnten.



**Abbildung 40** - Supraleiterbahn  
**Figure 40** - Superconducting train

Ein weiteres elektrisierendes Highlight für Groß und Klein (**Abbildung 41**) war unser Bandgenerator. Hier hatte jeder die Gelegenheit sich auf 150.000 Volt aufzuladen. Dabei musste



**Abbildung 41** - Bandgenerator

**Figure 41** - Bandgenerator

der ein oder andere etwas Mut beweisen, jedoch bestand hierbei natürlich keine Gefahr für die Teilnehmer! Zur Erinnerung wurde die „hochspannende Situation“, die die Haare zu Berge stehen ließ, durch eine Fotourkunde festgehalten, die den Teilnehmern direkt überreicht wurde.

Also, 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 and the tickets were out of stock shortly after the beginning of the TU-Night. They got the chance to see high-voltage flash overs, experiments with the “Tesla-Transformer”, the “Lichtenberg-Test” and our superconducting train (**Figure 40**). In front of the institute visitors could load their bodies onto 150.000 Volts at the “Bandgenerator”. This was an exciting event for young and old (**Figure 41**).

### **TU-Night 2012 – Science night**

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

This year the Technische Universität Braunschweig has changed its annual TU-Day into a new event, the TU-Night. The institute of high voltage technology and electrical power systems – elenia presented the research projects with an information booth where a lot of exhibits and posters were presented to interested visitors.

## Besichtigung der Ultranet-Versuchsstrecke in Datteln

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

In der Nähe des Kraftwerks Datteln wurden 2012 vorübergehend nicht benötigte Freileitungen genutzt, um experimentelle Ergebnisse zum Verhalten eines Hybridfreileitungssystems zu gewinnen. Das Hybridsystem kombiniert die Übertragung von Gleichstrom über die Leiter der einen Seite und Drehstrom über die Leiter der anderen Seite eines Freileitungsmasten. Diese Netzvariante wurde „Ultranet“ getauft und soll beim schnellen Netzausbau helfen, indem bestehende Freileitungsmasten genutzt werden und neben der herkömmlichen Drehstromübertragung größere Mengen an elektrischer Energie mit Hilfe der verlustärmeren Gleichstromtechnik übertragen werden.

Am 26. Juni 2012 besuchten Mitarbeiter des elenia zusammen mit Studierenden der TU Braunschweig das Ultranet-Versuchsgelände. Die Firma Amprion lud zum wissenschaftlichen Austausch. Auf dem Versuchsgelände wurde mit den Forschern der TU Dortmund diskutiert, die die Experimente mit der Versuchsstrecke durchführten. Abschließend ermöglichte E.ON Kraftwerke die Besichtigung des „Kraftwerk Datteln“-Neubaus, der sich von dem Ultranet-Pilotvorhaben „nur einen Steinwurf entfernt“ befindet. E.ON beabsichtigt das alte Kraftwerk außer Betrieb zu nehmen und durch das neue hocheffiziente Steinkohlekraftwerk zu ersetzen. Dem weit fortgeschrittenen Bauvorhaben wurde jedoch die Baugenehmigung entzogen, wodurch sich die Studierenden vor Augen führen lassen konnten, dass in der Energiebranche nicht nur technische Fragen bei der Realisierung eines Projekts beachtet werden müssen.



**Abbildung 42** - Exkursionsteilnehmer an der Versuchsstrecke

**Figure 42** - Excursion participants at the Ultranet test circuit

### **Visit of Ultranet test field**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

In the end of June 2012 the company Amprion invited the scientific staff of elenia and students of TU Braunschweig to visit the Ultranet test field at Datteln in West Germany. The visit served to enable the scientific exchange between Amprion, elenia and TU Dortmund. The scientists of TU Dortmund are involved in the Ultranet experiments. The word "Ultranet" was chosen to describe a new hybrid energy transmission technology. Existing transmission infrastructures are used to combine AC and HVDC transmission on the same electricity pylon. This technology could offer a new method for fast electrical grid reinforcements.

### **Smart Nord – Intelligente Netze Norddeutschland**

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

„Smart Nord – Intelligente Netze Norddeutschland“ ist ein vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) geförderter, interdisziplinärer Forschungsverbund im Kontext des Niedersächsischen Energiekonzepts, welcher eine Laufzeit von drei Jahren hat und am 01. März dieses Jahres gestartet ist. Der Ausstieg aus der Kernenergie und die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energieträger machen einen grundlegenden Systemwandel erforderlich, um unsere Energieversorgung verlässlich, klimaverträglich und bezahlbar umzugestalten. Eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende ist es, konventionelle Großkraftwerkskapazitäten zuverlässig durch dezentrale Energiesysteme wie Photovoltaik-, Windkraft- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen substituieren zu können. Dazu muss einerseits das Einspeise- und Bedarfsverhalten einer Vielzahl von Erzeugern, Verbrauchern und Speichern aufeinander abgestimmt werden, um die Bilanz der sogenannten Wirkleistung auszugleichen, und andererseits müssen auch netzstabilisierende Aufgaben, die heute vor allem von konventionellen Kraftwerken erbracht werden, zukünftig zunehmend von den dezentralen Anlagen übernommen werden.

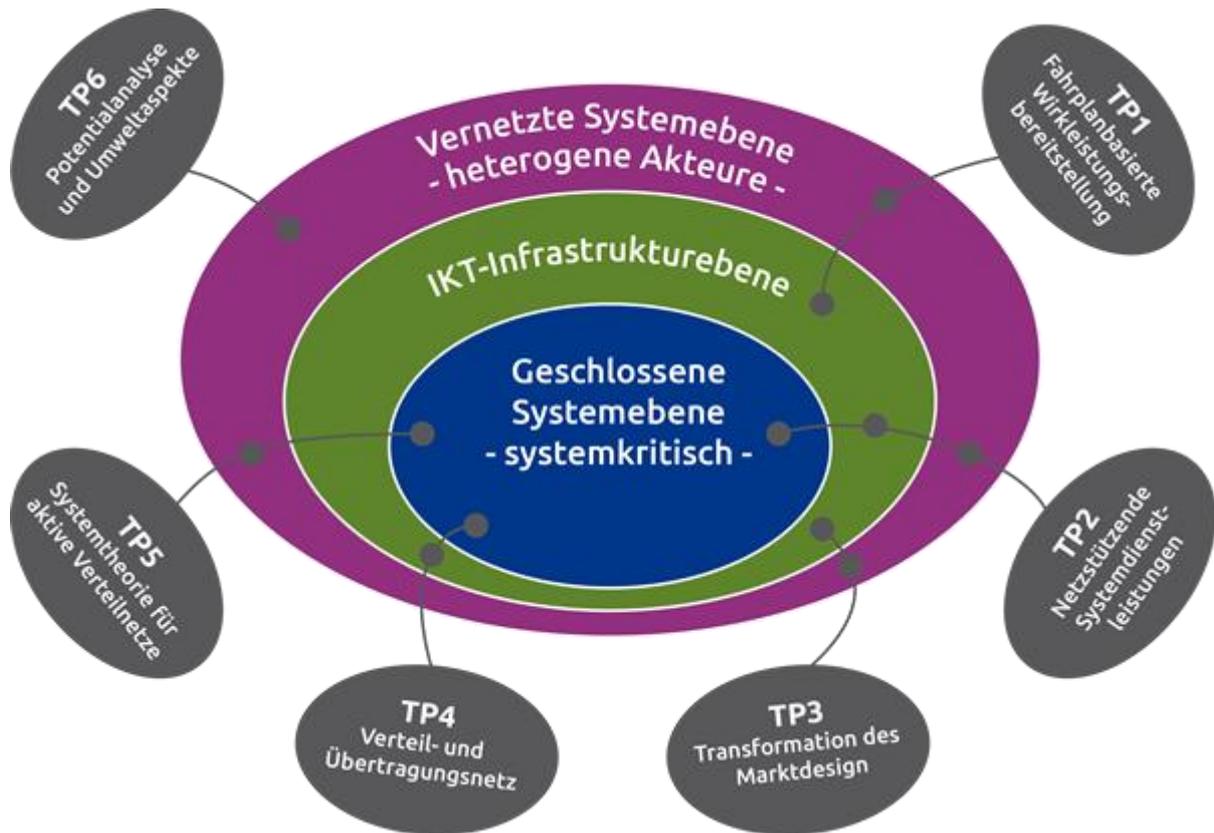


**Abbildung 43** - Offizielles Kick-off-Treffen am 10. April 2012 in Oldenburg

**Figure 43** - Kick-off-meeting

Ziel des interdisziplinären Forschungsverbundes Smart Nord ist die Erstellung von Beiträgen zur koordinierten, dezentralen Bereitstellung von Wirkleistung, Regelleistung und Blindleistung in den Verteilnetzen. Hierzu ist die Konzipierung einer neuen und sämtliche Komponenten einbeziehenden IKT-Infrastruktur erforderlich. Deren Systemarchitektur, die zur Sicherung der Interoperabilität von Komponenten auf etablierten Standardfamilien der IEC beruhen muss, sowie Fragen der IKT-Sicherheit (Security) sind selber Gegenstand der Untersuchungen. Besonderes Augenmerk bei der Anwendung liegt auf der Aggregation von dezentralen Verbrauchern und Erzeugern zur Bereitstellung von Wirkleistung nach vereinbarten Fahrplänen sowie von Netz- bzw. Systemdienstleistungen zum Ausgleich der fluktuierenden Einspeisungen regenerativer Energieanlagen in Echtzeit unter Berücksichtigung der Netzbelastung. Ein weiterer zentraler Forschungsgegenstand ist das Netz selber, das im Hinblick auf seine Stabilität bei neuen Betriebsweisen und Verwendung von Betriebsmitteln untersucht wird. Dessen Planung sowie die Berücksichtigung von Potentialen und Umweltaspekten bei der Planung regenerativer Energieanlagen stellt einen eigenen Forschungsschwerpunkt in Smart Nord dar.

Dieser Thematik widmen sich seit dem 01. März 2012 über 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in sechs Teilprojekten, die jeweils unterschiedlichen Systemebenen zugeordnet sind. Hierbei wirkt das elenia unterstützend in Teilprojekt 4 mit und hat unter Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat die Projektleitung des Teilprojektes 3 inne.



**Abbildung 44** - Struktur und Arbeitspakete des Verbundprojektes

**Figure 44** - Structure and work packages of the project

#### Handel von Wirkleistung und Systemdienstleistungen

Im diesem Teilprojekt (TP3) wird ein Handelssystem für Systemdienstleistungen entwickelt. Aufbauend auf einem Modell des aktuell existierenden Elektrizitätsmarktes werden in Kooperation mit Netzanalysen neue Produkte aus dem Bereich der Systemdienstleistungen definiert. Über die Erarbeitung von Geschäftsmodellen werden die Untersuchungen zur Marktintegration einer zunehmend qualitativ orientierten Energieumwandlung komplettiert.

Smart Nord entwickelt einen bisher nicht vorhandenen Markt für Systemdienstleistungen, der eine wirtschaftliche Teilnahme der Akteure mit den Anforderungen an die Netzsicherheit vereinbart. Mit der Analyse von Systemdienstleistungen und der Definition von neuen Marktprodukten wird mit Smart Nord das quantitative Vergütungssystem maßgeblich um eine qualitative, für die Energiewende wesentliche Komponente erweitert.

#### Verteil- und Übertragungsnetz

Im diesem Teilprojekt (TP4) wird das Potential dezentraler Erzeugungsanlagen innerhalb der Verteilnetze für Kraftwerksaufgaben im Gesamtsystem untersucht. Durch die Verdrängung großer Kraftwerke sind sowohl statische als auch insbesondere dynamische Untersuchungen der Stabilität des Versorgungsnetzes durchzuführen. Dafür werden verschiedene Modelle der

zu untersuchenden Netze sowie Erzeugungs- und Lastszenarien entworfen, mit denen die im Gesamtprojekt entwickelten Markt- und Bilanzverfahren validiert werden können.

Die in diesem Projekt neu entwickelten Verfahren für Bilanzeinheiten und Marktmodelle stellen weitreichende Änderungen des gesamten Netzbetriebes dar, so dass eine umfangreiche Überprüfung der Netzstrukturen und Sicherheitskonzepte erfolgen muss, um sowohl den stationären Betrieb als auch Auswirkungen dynamischer Störfälle in den Netzen der Zukunft bewerten zu können.

### **Exkursion nach Hamburg vom 29.-31.05.2012**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

Die Woche nach Pfingsten wird von der TU Braunschweig als Exkursionswoche genutzt. Studierende haben die Zeit in dieser Woche an einer mehrtägigen Exkursion eines oder mehrerer Institute teilzunehmen.

Wie in den vergangenen Jahren hat das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen im Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit eine dreitägige Exkursion in diesem Zeitraum vom 29.05. bis 31.05. organisiert. Für lediglich 30 Euro hatten die Studierenden die Gelegenheit Firmen in und um Hamburg näher kennen zu lernen. Am Dienstag nach Pfingsten starteten die beiden Institute mit insgesamt 35 Teilnehmern in einem Reisebus nach Hamburg. Das erste Ziel wurde gleich mittags besichtigt. Der NDR Rundfunk hatte zu einer 2,5 stündigen Besichtigung durch das Firmengelände eingeladen. Frau Methler, Moderatorin und Redakteurin, wies uns in die Arbeit eines Moderators ein und zeigte dabei auch die Informationsbeschaffung über die Pressestelle wie z.B. Reuters auf. Sehr interessant war auch die Anwesenheit der Gruppe im Studio bei einer Liveübertragung. Am Abend kehrten alle Teilnehmer in das Brauhaus Joh. Albrecht bei einem Gericht und dem Brauhausbier ein.

Der nächste Tag, Mittwoch, begann bereits um 7:30 Uhr mit der Abfahrt nach Brunsbüttel zum im Bau befindlichen Umspannwerk von Tennet (**Abbildung 45**). Interessant ist hier die Offshore Anbindung der Windparks HelWin 1 und 2 sowie SylWin 1 und 2. Ausgestattet mit einer Sicherheitsausrüstung bestehend aus Helm, Sicherheitsweste und Sicherheitsschuhen konnten wir die Baustelle in den verschiedenen Bereichen betreten. Herr Dr. Stamm promovierte am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen und führte uns mit weiteren Kollegen in das Umspannwerk mit Anschluss an das örtliche 380 kV Netz sowie in die Konverter-Halle zur Umrichtung des ankommenden Gleichstroms. Glücklicherweise war die Halle noch nicht mit den Leistungshalbleitern bestückt, so dass wir die Gelegenheit hatten die Halle auch zu betreten. Die Anbindung der Windparks mit HGÜ stellt eine sehr verlustarme Variante der Energieübertragung dar. In der Nordsee befindet sich hierzu eine

Plattform zur Umwandlung in den Gleichstrom, über eine gemeinsame Trasse werden die Seekabel an die Converter-Station in der Nähe von Brunsbüttel gelegt. Neben, der schon aufgebauten Halle zur Anbindung von HelWin 1, werden noch 3 weitere Hallen für die zukünftige Windparks erstellt. Die aus den Windparks ankommende Leistung beträgt 3200 MW. Dies wurde auch durch die enorme Größe der Baustelle von 30 Hektar deutlich. Das gesamte Bauvolumen beträgt 1 Milliarde Euro und Prognosen zeigen weitere Preissteigerungen für zukünftige Projekte. Die Bedeutung dieses Projekts zeigt auch die über die letzten 5 Jahre angestiegene Mitarbeiterzahl bei Tennet im Bereich des Offshores von 30 auf ca. 250 Mitarbeiter.



**Abbildung 45** - Gruppenfoto der Exkursionsteilnehmer mit Vertretern von Tennet vor der Baustelle des Umspannwerkes.

**Figure 45** - Group photo of the tour participants with representatives from Tennet in front of the construction of the substation.

Am Mittag machten wir uns wieder in Richtung Hamburg auf, um den Nachmittag mit einer Besichtigung bei NXP, ehemals Philips Semiconductor, zu verbringen. Eine Führung durch die Produktionsstätten der winzigen Chips zeigte einen großen Unterschied zu den enormen Ausmaßen des Vormittags auf der Baustelle. Deutlich wurde der enorme Druck der Branche durch den asiatischen Markt, wodurch NXP gezwungen ist immer günstiger in Europa zu produzieren. Dies erreichten Sie zuletzt durch die Produktion von 8 Zoll Wafern anstatt wie zuvor von 6 Zoll. Bei anschließenden Fachvorträgen lernten wir die vielfältigen Anwendungen der Chips aus dem Hause NXP kennen, wie z.B. der Wegfahrsperrung in der Automobilbranche oder Filtereinheiten für die Handys sowie Chips für die Sicherheits- und Identifikationstechnik. Am Beispiel mehrerer Chipkarten wurde auch die Störanfälligkeit und dessen Behebung aufgezeigt. Beeindruckt verließen wir am Abend das Gelände und jeder hatte nun die Möglichkeit Hamburg zu erkunden.

Am Tag der Abreise hielten wir uns den gesamten Tag bei Airbus auf. Hier waren wir bereits alle auf den Blick auf einen A380 gespannt. Zu Beginn wurde uns mit einem Fachvortrag über Tests an der Innenausstattung das Interesse für die erste Besichtigung dieser Testanlage für den A380 geweckt. Der Rundgang zeigte neben der gesamten Ver.- und Entsorgungstechnik auch den Teststand für EMV-Problematiken. Noch aktueller wurde es durch die Führung durch die Testhallen für den A350, der sich noch in dem Entwicklungsstadium befindet. Durch einen Nachbau in verkürzter Version lassen sich Tests im nachgeahmten Flugbetrieb durchführen. Das Highlight stellte aber die anschließende Struktur- und Endfertigung des A320 sowie die Strukturfertigung des A380 dar. Dabei werden die Außenteile der Flugzeugvarianten miteinander verbunden. Aber auch die Innenausstattung des A380 wird in Hamburg gefertigt und so konnten wir einen direkten Blick auf den „Riesen“ werfen. Dabei wurden die Ausmaße noch deutlicher, vor allem die Triebwerke mit 90000 oder 113000 PS waren sehr beeindruckend. Über zwei Stockwerke können bei einer Länge von 73 m 555 Personen je nach Ausstattung transportiert werden. Voller Eindrücke machten wir uns am späten Nachmittag wieder auf die Heimreise nach Braunschweig.

### **Student Excursion Mai 29-31, 2012: Trip to Hamburg**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

The Institutes for High Voltage Technology and for Electromagnetic Compatibility made a field trip to the city of Hamburg last May. A total of 35 participants were able to get to know companies in and around Hamburg.

The first stop was the NDR network. There, Mrs. Methler showed the participants the facilities and talked about her work as a presenter and as an editor. The group became an insider look at the journalistic process. The next day the group visited the construction site of the Tennet electrical substation in Brunsbüttel (**Figure 45**). This station will convert power generated on offshore wind parks and is a pilot project in Germany due to its planned efficiency. The participants had the chance to see the station up close. This will not be possible once it is in operation due to the enormous amount of electromagnetic radiation. After this interesting visit we made our way to Hamburg where we spent the afternoon at NXP (formerly Philips Semiconductor). The production of the tiny chips contrasted with the huge construction site we had visited earlier. We learned a lot about the applications of these chips and about the harsh competition with Asian producers. In the evening, the group had the chance to explore the city. The last day was reserved for a tour at Airbus. Naturally, everyone was excited about seeing the A380 aircraft. First we heard an interesting presentation about Airbus and the production and research process. Later we saw test sites where, for example, research is made to deal with electromagnetic compatibility issues on airplanes. The highlight was, of course,

finally seeing the A380 being built. This “giant” is put together and finished in Hamburg and can transport up to 555 people.

In all we learned a lot and had the chance to see very different aspects from the tiny chip to the giant airplane. We came back to Brunswick with many new impressions after this successful trip.

### **Energetechnisches Symposium mit Ehemaligentreffen**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

Das elenia hat sein Ehemaligentreffen dieses Jahr in einer besonderen Form ausgerichtet. Die ehemaligen und aktuellen Mitarbeiter sowie die Partner des Instituts waren zum energetechnischen Symposium 2012 geladen. Die Veranstaltung fand in der Aula im Haus der Wissenschaften statt. Professor Kurrat eröffnete das Symposium. Professor Engel stellte sich und seine Tätigkeiten vor.

Das zentrale Thema war der Umbau der Netze. Vier kompetente Referenten berichteten im Laufe des ersten Veranstaltungsteils über aktuelle Projekte. Nach jedem Vortrag setzte eine rege Diskussion ein. Die Mittagspause mit Imbiss zwischen den Vorträgen bot Gelegenheit zum weiteren Austausch und Kennenlernen. Am Nachmittag folgte nach einem Gruppenfoto (**Abbildung 46**) eine weitere Stärkung mit Kaffee und Kuchen. Der Ort dafür war natürlich die Hochspannungshalle. Von hier konnten die Teilnehmer auch ihre alten Wirkungsstätten und Labore am Institut besuchen. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter stellten in ihren Laboren die aktuellen Arbeiten vor.



**Abbildung 46** - Teilnehmer des Ehemaligentreffens

**Figure 46** - Attendees of the alumni reunion

Die Abendveranstaltung startete um 19:00 Uhr. Die Professoren im Ruhestand Kind und Lindmayer stellten der Runde kurzweilige Vorträge über die Historie des Instituts und der dort gemachten Erfahrungen vor. Mit Eröffnung des Buffets und bei Getränken wurden den ganzen Abend über noch viele interessante Gespräche gehalten.

### **Energetisches Symposium with alumni reunion**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

This years alumni reunion was carried out with a special concept. Elenia organized the Energetisches Symposium 2012. Both former and current colleagues and business partner, respectively, were invited. The topic of the event was the reconstruction of the existing power grids. Four interesting presentations lead to extensive discussions. In the afternoon the attendees of the symposium could visit their old and the new laboratories. The pleasant group finished the day with two more presentations and a buffet.

### **ISDEIV 2012 Tomsk**

*Sergej Puzankov, M. Sc.*

Pünktlich um 9:00 Uhr hat der Flughafen transfer den letzten Teilnehmer der ISDEIV 2012 Gruppe aus Braunschweig abgeholt. Angekommen am Flughafen Hannover-Langenhagen mussten wir uns an einer langen Schlange vor dem Check-In Schalter anstellen. Es dauerte nicht lange und es stand fest, dass wir dort richtig waren, da die Wartenden sich ausschließlich auf Russisch unterhielten. Nach dem problemlosen Check-In und einer ca. 1 stündigen Wartezeit in der Wartehalle stiegen wir schließlich in die A320 Maschine der Aeroflot. Ohne Verspätungen und Zwischenfälle erreichte diese auch um 18.15 (OZ) den Flughafen Moskau Sheremetyevo. In Moskau stand uns ein 6 stündiger Aufenthalt bevor, sodass wir uns schnell des schweren Gepäcks entledigten und ein gemütliches Lokal aufsuchten.



**Abbildung 47 - Rubin Hotel**

**Figure 47 - Rubin hotel**

Im Verlauf des Abends kamen viele bekannte Gesichter aus der Schweiz, Darmstadt und Düsseldorf. Pünktlich um 00:15 (OZ) verließen wir mit einer weiteren A320 Moskau Richtung Tomsk. Diese Maschine war praktisch zu 100% mit Teilnehmern der ISDEIV besetzt und einige Kollegen witzelten, dass im Falle eines Absturzes die geballte Kompetenz um die Vakuum-Forschung verloren wäre. Doch auch diesmal landete die Aeroflot Maschine zwar hart aber bestimmt auf der sanierungsbedürftigen Landebahn des Flughafens in Tomsk. Aufgrund einiger Umbaumaßnahmen bestand die Gepäckrückgabe aus einem Zelt, in welchem sich ein kreisförmig angeordnetes Fließband befand. Die Teilnehmer wurden mit einem häuslich eingerichteten Reisebus abgeholt. Verschiedene bunte Vorhänge zierten die vom Alter mitgenommenen Fenster des Fahrzeugs und als Highlight war an der Windschutzscheibe der „Crazy-Frog“ befestigt und grinste die von der Reise erschöpften Insassen an.

Im Rubin Hotel angekommen konnten die Teilnehmer nach einem schnellen Einchecken auf die Zimmer gehen und sich frisch machen. An diesem Nachmittag war lediglich von 15 bis 19 Uhr die „Welcome Reception“ geplant, sodass wir uns bis zu diesem Zeitpunkt etwas erholen konnten. Auf der Welcome Reception gab es neben einem vielfältigen Büffet einen Überblick des Ablaufs der Veranstaltung. Jeden Tag wurden Vorträge zu verschiedensten Themen gehalten und am späten Nachmittag gab es Poster Sessions. Neben dem wissenschaftlichen Programm wurde ebenfalls ein kulturelles Programm durchgeführt.



**Abbildung 48** - Konferenzsaal

**Figure 48** - Conference room

Am Montag den 3. September wurden die Oral Sessions eröffnet. Es folgte die Dyke Award Session, bei der Dieter König von der TU Darmstadt seine Auszeichnung entgegen nahm und einen Vortrag über die Rolle der Vakuumschalter in der heutigen Zeit hielt. Um 14:20 Uhr konnten wir einen Vortrag von Ingo Gramberg über seine Untersuchungen der Bedampfungsschichten der VG5 Vakuumkammern an der TU Braunschweig hören.

Ab 16:00 Uhr fand eine Poster Session statt, bei der Herr Gramberg ebenfalls das zu seinem Vortrag gehörige Poster präsentierte. Es gab ein interessantes Poster von den Kollegen aus der TU Darmstadt in Kooperation mit der Siemens AG. Diese messen mit vier Spulen das Magnetfeld des Lichtbogens in einer Vakuumkammer und rechnen je nach Stärke des induzierten Stroms die Position des Lichtbogens aus.

Während der Governmental Reception am Abend kamen wir in den Genuss eines Vortrags des stellvertretenden Bürgermeisters von Tomsk über die Entwicklung und die zahlreichen Vorzüge der Stadt. Im Anschluss hat der akademische Chor der Staatsuniversität Tomsk uns ein kleines Konzert dargeboten.

Am Mittwoch wurde statt der Poster Session am Nachmittag die Symposium Tour durchgeführt. Es wurde eine ausführliche Stadtführung organisiert. Aufgrund des starken Regens an diesem Tag blieben die Teilnehmer bei den meisten Sehenswürdigkeiten im Bus sitzen. Am späten Abend trafen sich die Teilnehmer zum Symposium Dinner. Neben dem Essen wurde auch der Chatterton Award für die Poster der Siemens AG und der Arbeitsgruppe aus Darmstadt verliehen.



**Abbildung 49** - Deutsch-Russisches Haus

**Figure 49** - Deutsch-Russisches Haus

Am Freitag gab es eine Führung durch das Hochstrom Institut der Statsuniversität Tomsk. Einige Teilnehmer haben das gute Wetter nach dieser Veranstaltung genutzt, um die Symposium Tour nachzuholen und konnten so viele bleibende Eindrücke von Tomsk gewinnen.

Am Samstag den 8.09.2012 wurden die meisten Teilnehmer durch einen Transferbus zum Flughafen gebracht, wo man trotz extrem starker Kontrollen dennoch in das Flugzeug einsteigen durfte. Da der Hinflug ohne Probleme verlief, erwartete man diverse Schwierigkeiten auf dem Rückflug, die aber glücklicherweise ausblieben.

Man hat sehr viele interessante Menschen und Forschungsarbeiten auf der ISDEIV 2012 kennengelernt. Wenn nicht einige der angebotenen Speisen zu Folgeeffekten am Körper geführt hätten, wäre das eine durchaus gelungene Dienstreise geworden.



## 5 Veröffentlichungen und Medienberichte

### 5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications

- 1) E.-D. Wilkening, Power to Gas, Technik-Dialog der Bundesnetzagentur, Speichertechnologien, Bonn 2012.
- 2) O. Binder, J. Meisner, M. Kurrat, M. Schmidt, M. Kahmann, Impact of time delayed current and voltage signals on IGBT loss measurement, PCIM Europe, Nürnberg 2012.
- 3) B. Bünsow, M. Kurrat, E.-D. Wilkening, Surge current behavior of turned on 600 V NPT-IGBT, PCIM Europe, Nürnberg 2012.
- 4) A. Umland, B. Engel, F. Kever, J. Laschinski, M. Walter, Einspeisemanagement und Begrenzung der Wirkleistungseinspeisung auf 70% nach dem EEG 2012, 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein.
- 5) M. Hilbert, M. Budde, M. Kurrat, Teilentladungsdiagnostik von hochbelasteten Isoliersystemen auf Epoxidharzbasis, Technische Akademie Esslingen, Epoxid- und Polyurethanharze in Elektrotechnik und Elektronik, 08.05.2012 – 10.05.2012, Esslingen.
- 6) J. Reiß, M. Lindmayer, M. Kurrat, Simplification of the Arc Splitting Process in Numerical Gas Flow Simulations, 26<sup>th</sup> International Conference on Electrical Contacts, 14.-17. Mai 2012, Peking, China.
- 7) T. Schrank, Ernst-Dieter Wilkening, Michael Kurrat, Frank Gerdinand, Peter Meckler, Breaking Performance of a Circuit Breaker influenced by a Permanent Magnetic Field at DC Voltages up to 450 V, 26<sup>th</sup> International Conference on Electrical Contacts, 14.-17. Mai 2012, Peking, China.
- 8) M. Kurrat, B. Deppe, et. al. Voltage Source Converter (VSC) HVDC for Power Transmission - Economic Aspects and Comparison with other AC and DC Technologies. In: CIGRE technical brochure No. 492, 2012.
- 9) B. Schottel, M. Kurrat, Experimental investigation of short-time arc-wall interaction, XIX International Conference on Gas Discharges and Their Applications, 02-07.09.2012 Beijing, China.
- 10) M. Hilbert, M. Kurrat, PIC-MC Simulation-Model for Microplasma-Propagation at Atmospheric Pressure in Cavities, 19th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, September 2nd - 7th 2012, Beijing, China.

- 11) B. Munzel, J. Diedrich, M. Kurrat, Spanische Marktprämien und Kapazitätzahlungen – Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksprojekten auf der iberischen Halbinsel, emw - Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb, Februar 2012, Essen.
- 12) M. Bunk, B. Engel, Zukünftige Herausforderung der Energieversorgung in den Niederspannungsverteilnetzen, E-Home Innovationstag, 30.08.2012, Varrel.
- 13) M. Bunk, B. Engel, L. Hofmann, A. Vielhauer, B. Lehde, E-Home Energieprojekt 2020, Cired 2012, 29. - 30. Juni 2012, Lissabon.
- 14) T. Bülo, D. Mende, B. Engel, D. Geibel, T. Degner,; K. Boldt, J.-P. da Costa, W. Kruschel, P. Zacharias, F. Sutter, T. Hug, Spannungshaltung in aktiven, intelligenten Niederspannungsnetzen, VDE Kongress 2012, 05.-06.11.2012, Stuttgart.
- 15) P. Gronstedt, B. Engel, Zeitgleiche Nutzung verschiedener Absatzkanäle für eine effiziente Vermarktung von DEA im aktiven Verteilnetz, VDE Kongress 2012, 05.-06.11.2012, Stuttgart.
- 16) P. Gronstedt, M. Bunk, B. Engel, Neue Netzsystemdienstleistungen und deren Validierung in einem Netzintegrationslabor, VDE Kongress 2012, 05.-06.11.2012, Stuttgart.
- 17) M. Sonnenschein, H.-J., Appelrath, L. Hofmann, M. Kurrat, S. Lehnhoff, Ch. Mayer, A. Mertens, M. Uslar, A. Nieße, M. Tröschel, Dezentrale und selbstorganisierte Koordination in Smart Grids, VDE Kongress 2012, 05.-06.11.2012, Stuttgart.
- 18) H. Haupt, M. Bunk, A. Dammasch, P. Gronstedt, M. Kurrat, B. Engel, Analysis of Field-Test Results on Means to Reduce the Impact of a High Share of Renewables in Low-Voltage-Distribution Networks, 27th EU PVSEC, 24.-28.09.2012, Frankfurt a. M.
- 19) M. Blaz, M. Kurrat, Influence of Bubbles in Pressurized Liquid Nitrogen on the Discharge Behavior in a Homogeneous Electric Field, Applied Superconductivity Conference, 7.-12.10.2012, Portland, Oregon.
- 20) V. Ermel, J. Meisner, M. Kahmann, M. Kurrat, Discriminative acquisition of power IGBT low rate transients, Proc. of the Int. Workshop on Applied Measurements for Power Systems, AMPS 2012, pp. 71-75, 2012.
- 21) S. Laudahn, B. Engel, Grid Integration of PV Plants in Germany and the US, 8th Germany California Solar Day, 30.10.2012; San Francisco, USA.
- 22) S. Laudahn, B. Engel, G. Bettenwort, B. Ernst, H. Knopf, Fault-Ride Through vs. Anti-Islanding, IRED 2012, 04.-06.12.2012, Berlin.

- 23) I. Gramberg, M. Kurrat, D. Gentsch, *Electron probe micro analysis and surface resistance measurement investigation of copper chrome coatings on vacuum circuit breaker ceramic surfaces following switching operations*, ISDEIV 2012, Tomsk, Russland.
- 24) P. Gronstedt, M. Stötzer, Z. Styczynski, *Demand Side Integration in the German Power System – A potential analysis*, General Meeting IEEE, San Diego 2012.
- 25) P. Gronstedt, M. Kurrat, *Integration dezentraler Energieumwandlung im aktiven Verteilnetz über den Ansatz einer Netzorientierten Betriebsweise*, Energiesymposium TU Graz, Graz 2012.
- 26) P. Gronstedt, Z. Styczynski, T. Aundrup, R. Apel et al., *Demand Side Integration (DSI)*, VDE-Studie, Frankfurt 2012.
- 27) J. Hällström, A. Bergman, A. Elg, W. Lucas, J. Meisner et al., *Design of a wideband HVDC reference divider*, CPEM 2012, Washington DC.

## 5.2 Berichte in den Medien - News

*Die Suche nach dem großen Strompuffer*

28.10.2011, VDI nachrichten

*„Bürgerfonds“ soll Ausbau der Stromnetze finanzieren*

28.10.2011, VDI nachrichten

*„Wir bräuchten eine Art Einspeisegesetz für Stromspeicher“*

09.12.2011, VDI nachrichten

*2012 wird ein „Wendejahr“ für Biogasanlagen*

20.01.2012, VDI nachrichten

*Wissenschaft aus Braunschweig – so läuft die E-Mobilität wirklich: NDR und unsere Zeitung laden zu „Logo“ ins Haus der Wissenschaft – Leser fragen*

10.02.2012, Braunschweiger Zeitung

*Mit Elektromobilität in eine grüne Zukunft:*

*Öko-Strom ist die Voraussetzung - Braunschweiger Experten diskutieren im Haus der Wissenschaft*

17.02.2012, Braunschweiger Zeitung

*Herausforderung Energiewende: Antrittsvorlesung – Photovoltaikanlagen spielen immer größere Rolle*

03.06.2012, neue Braunschweiger

*Stromtransport – Basiswissen für die Energiewende*

01.09.2012, Energie.Bündel

*„Energiecafé spezial“ vermittelt Grundlagen des Stromtransports: Haus der Wissenschaft lädt für Dienstag ein*

22.09.2012, Peiner Allgemeine Zeitung



