



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



# Jahresbericht 2013

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen – elenia

# **Jahresbericht 2013**



## 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>11</b>
2.1 Vorlesungen und Praktika - Lectures and Laboratories .....	13
2.2 Studienseminare - Student Lectures .....	18
2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects.....	20
2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses .....	20
2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses.....	21
2.6 Masterarbeiten - Master Theses .....	23
<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 Energietechnologien - Working Group Energy Technologies .....	42
3.3 Dissertationen – Dissertations .....	77
<b>4 Besondere Ereignisse 2013 - Special Events 2013 .....</b>	<b>85</b>
4.1 Kalender der besonderen Ereignisse .....	85
4.2 Berichte von besonderen Ereignissen - Reports on Special Events .....	94
<b>5 Veröffentlichungen und Medienberichte .....</b>	<b>108</b>
5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications.....	108
5.2 Berichte in den Medien - News.....	111



Liebe Freunde des Instituts,

die Energiewende ist das zentrale Thema, das uns alle umtreibt. Die vielen öffentlichen Förderprogramme und Anfragen zur Auftragsforschung verstellen uns manchmal den Blick auf das Wesentliche. Leitbilder bieten hin und wieder die Gedanken von Kollegen, die in nationalen und internationalen Kommissionen mitarbeiten. Im Herbst kam wieder ein Impuls aus dem Wuppertal Institut. Wir müssen unser Wissen nachhaltig organisieren und mit der Gesellschaft teilen. Wir müssen unsere Zeit in die Ausbildung der Studenten und Doktoranden investieren und diese für die Herausforderungen der Energiewende fit machen. Ein wichtiger Aspekt der Nachhaltigkeit, den das universitäre Umfeld bietet. Das erstreckt sich von rein technischen Betrachtungen von Komponenten und Systemen über wirtschaftliche Aspekte bis zu gesellschaftspolitischen sowie geisteswissenschaftlichen Perspektiven. Wie gut, dass wir mit unseren Themen bereits so breit aufgestellt sind.

Mit über 30 wissenschaftlichen Mitarbeitern haben wir die Grenzen des Wachstums für unser Institut mit zwei Professoren erreicht. Unser Hauptaugenmerk muss nun darauf gerichtet sein, dass die Qualität der wissenschaftlichen Forschung auch weiterhin unseren hohen Ansprüchen gerecht wird. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen sowohl Infrastruktur als auch Organisation sich weiterentwickeln.

Der verstärkte Übergang von der Grundlagenforschung zu der projektorientierten Anwendungsforschung aus den Fördermitteln der Länder und des Bundes erfordert eine gute Projektorganisation. Hier können wir mit der Einrichtung des PMO (Project Management Office) eine Erfolgsgeschichte vermelden. Das Kernteam stellt das erforderliche Know-How und die Organisation für die Antragsstellung, das Projektmanagement und die Institutsorganisation zur Verfügung. In unserem ersten Review nach einem Jahr PMO konnten wir zufrieden auf geordnete Prozesse, weniger Stress und eine hohe Arbeitszufriedenheit der Mitarbeiter zurückblicken.

Die Organisation unserer Forschungsthemen haben wir in mehreren Workshops vorangetrieben und deutlich strukturiert. Für die effiziente und kontinuierliche Bearbeitung der aktuellen Themen haben wir Forschergruppen gebildet. Damit möchten wir unseren eingeschlagenen Weg von den hochspezialisierten einzelnen Forschungsprojekten hin zu einem kooperativen Forschungsteam erfolgreich fortsetzen. Die neuen Mitarbeiter finden so eine gute Arbeitsumgebung vor und die erfahrenen Mitarbeiter können beruhigt in die Dissertations- und Prüfungsphase gehen. Den neuen Mitarbeitern wünschen wir einen guten Einstieg und den Absolventen viel Erfolg für den weiteren Lebensweg. Für die engagierte Mitarbeit im Institut bedanken wir uns bei allen Mitarbeitern. Besonders bedanken wir uns bei Frau Christine Nardmann, die nach vielen Jahren als gute Seele in der Geschäftsstelle das Institut, viel zu früh,

in den wohlverdienten Vorruhestand verlässt. In der Geschäftsstelle werden wir nun durch Frau Jacqueline Schmidt, Frau Petra Thiele und Frau Anne Markaschke vertreten.

Mit unseren Arbeiten zur Integration der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität sowie zur Steigerung der Energieeffizienz wollen wir unseren Beitrag zur Energiewende leisten. Unsere Forschungsergebnisse über hocheffiziente Umrichter- und Gleichstromsysteme mit integrierten Batteriesystemen sowie die erforderlichen Sicherheitstechnologien mittels Schaltgeräten und Isoliersystemen bilden die Grundpfeiler auf der Komponenten- und Anlagenebene. Für die Systemintegration liefern wir Konzepte und Methoden für die zukünftige Netzautomatisierung und Marktintegration. Das große Interesse der Studierenden an diesen Themen belegen die mehr als 70 wissenschaftliche Hilfskräfte, die uns in den Forschergruppen unterstützen, und die über 60 studentischen Arbeiten, die ihre kleineren und auch größeren Beiträge zu den Forschungsergebnissen beisteuern. Für die geleistete Arbeit bedanken wir uns herzlich bei den Studierenden.

Unsere neuen Labore bilden die Speerspitze unserer Forschung. Im Netzintegrationslabor laufen die ersten Messungen zur Qualifizierung von Wechselrichtern. Unser Fahrzeuglabor ist mit einer neuen Energieverteilung ausgerüstet worden, um den Ladebedürfnissen unserer Flotte von Elektrofahrzeugen entsprechen zu können. Eine Besonderheit ist hier die gemeinsame Nutzung des Fahrzeuglabors mit unserem Nachbarinstitut für Nachrichtentechnik. Das gleiche Konzept greift schon seit einigen Jahren bei der Bewirtschaftung der Laborräume am Okerufer zusammen mit unserem Partnerinstitut für Elektromagnetische Verträglichkeit. Der Trockenraum für unsere Batterieforschung in der Battery Lab-Factory Braunschweig wird gerade aufgebaut. Auch dieses Beispiel unterstützt den Trend: Neue Projekte werden als Verbundforschung in neuen Räumlichkeiten realisiert, in diesem Fall ganz in der Nähe Am langen Kamp. Die dringend benötigten zusätzlichen Büroräume werden im nächsten Jahr durch einen Umbau in der zweiten Etage im Mühlenfordthaus entstehen. Dieses ist der nächste Bauabschnitt in der Reihe der Modernisierungen, mit der wir vor einigen Jahren begonnen haben. Alle Mitarbeiterbüros sind renoviert und haben eine neue Ausstattung erhalten.

Das elenia wird in der zweiten Jahreshälfte 2014 zum Thema Energiewende sein zweites Energietechnisches Symposium ausrichten. Wir haben die vielen nützlichen Hinweise des letzten Symposiums ausgewertet und werden diese einfließen lassen. An das wissenschaftliche Programm wird sich wiederum eine Abendveranstaltung mit den ehemaligen und jetzigen Angehörigen des Instituts anschließen, die eine gute Gelegenheit zum Gedankenaustausch bietet.

Mit dem Wunsch für ein gutes und erfolgreiches Jahr 2014 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 2013



Michael Kurrat



Bernd Engel



## 1 Personelle Besetzung des Instituts - Staff

Vorstand:	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (Geschäftsführender Institutsleiter) Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Professoren im Ruhestand:	Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner Tegernsee  Prof. a. D. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer Braunschweig  Prof. a. D. Dr.-Ing. Jürgen Salge Salzgitter-Osterlinde
Honorarprofessoren:	Prof. Dr.-Ing. Bernhard von Gersdorff, Berlin Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind, Braunschweig
Lehrbeauftragte:	Dr.-Ing. Hartmut Knobloch, Berlin Dr.-Ing. Harald Waitschat, Braunschweig
Akademischer Oberrat:	Dr.-Ing. Ernst-Dieter Wilkening
Geschäftsstelle:	Anne Markaschke Jacqueline Schmidt Petra Thiele
AG Energiesysteme:	

Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Phillip Gronstedt (AG-Leiter bis 31.10.2013)
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Arne Dammasch (AG-Leiter ab 01.11.2013)
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Marcus Bunk
M. Sc.	Stephan Diekmann
M. Eng.	Tarek Fawzy (ext. Doktorand SMA)
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Franziska Funck
Dipl.-Ing.	Stefanie Koch
M. Sc.	Stefan Laudahn
M. Sc.	Hauke Loges

M. Sc.	Ole Marggraf
M.Sc.	Maria Nuschke (ext. Doktorandin, SMA)
M.Sc.	Björn Osterkamp
M. Eng.	Frank Soyck
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Daniel Unger
M. Sc.	Michael Wiest (ext. Doktorand Hochschule Augsburg)
Dipl.-Ing.	Jonas Wussow

AG Energietechnologien:

Dipl.-Ing.	Ingo Gramberg (AG-Leiter)
Dipl.-Ing.	Jan Bellin (ext. Doktorand, VW)
Dipl.-Ing.	Ole Binder
Dipl.-Ing.	Michael Blaz
Dr.-Ing.	Vladimir Ermel
Dipl.-Math.tech.	Frithjof Fehsenfeld (ext. Doktorand, FH Hannover)
Dipl.-Ing.	Daniel Hauck
Dr.-Ing.	Nasser Hemdan
Dipl.-Ing.	Michael Hilbert
Dipl.-Ing.	Nicholas Hill
Dipl.-Phys.	Mathias Kammerlocher (ext. Doktorand, VW)
Dipl.-Ing.	Hendrik-Christian Köpf
Dipl.-Ing.	Tobias Hartmut Kopp
Dipl.-Ing.	Johann Meisner (ext. Doktorand, PTB)
Dipl.-Ing.	Enrico Mohns (ext. Doktorand, PTB)
M.Sc.	Jan Mummel
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Benjamin Munzel
M. Sc.	Fridolin Muuß
M. Sc.	Tobias Pieniak
M. Sc.	Sergej Puzankov
Dipl.-Ing.	Julia Rüther
Dipl.-Ing.	Bernd Schottel
M. Sc.	Uwe Westerhoff
Dr.-Ing.	Ernst-Dieter Wilkening

Technische Angestellte: Christian Ryll  
Bernhard Wedler

Werkstattmitarbeiter: Kerstin Rach (Werkstattleiterin)  
Frank Haake  
Klaus-Dieter Kozowsky  
Reinhard Meyer

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2013 ausgeschieden:

Am 31.12.2012	Hannes Haupt
Am 30.06.2013	Christine Nardmann
Am 31.08.2013	Dr.-Ing. Vladimir Ermel
Am 31.12.2013	Ingo Gramberg
Am 31.12.2013	Phillip Gronstedt
Am 31.12.2013	Sergej Puzankov

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2013 neu hinzugekommen:

Am 15.01.2013	Jan Mummel
Am 01.02.2013	Stephan Diekmann
Am 01.02.2013	Tobias Hartmut Kopp
Am 01.04.2013	Nicholas Hill
Am 01.04.2013	Hauke Loges
Am 01.04.2013	Petra Thiele
Am 01.05.2013	Stefanie Koch
Am 17.06.2013	Fridolin Muuß
Am 01.10.2013	Jonas Wussow
Am 01.11.2013	Björn Osterkamp
Am 01.11.2013	Tobias Pieniak
Am 01.12.2013	Ole Marggraf

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2013 tätig:

Alstadt, Christoph	Ismar, Fabian	Reinhold, Christian
Aust, Ralf Steffen	Jennrich, Christoph	Rewald, Florian
Barut, Sinan	Jurek, Lukas	Runge, Tobias
Berlinecke, Julian	Kaschel, Henning	Schrader, Robin
Birk, Swetlana	Klefer, Carina Martina	Schütze, Lennart
Bolz, Anton	Klippert, Mark	Shi, Gaolei
Bondiek, Sabine	Klosinski, Christoph	Spohr, Alexander
Born, Maria Joanna	Kluge, Marius	Stocklossa, Timo
Bösche, Dirk	Kühn, Benjamin	Tallen, Michael
Brandes, Sabrina	Kurbach, Kerstin	Thienemann, Christian
Brodale, Ricardo	Larki, Sina	Urbanek, Stefan
Chen, Zhe	Lippold, Florian	Vietz, Matthias
Debbling, Christina	Lüdtke, Tim	Weber, Benjamin
Englich, Christoph	Maiberg, Christian	Weege, Henning
Ernestus, Maximilian	Marggraf, Ole	Wehmeyer, Hendrik
Fröhner, Maike	Matern, Marius	Weidemann, Daniel
Gellrich, Sebastian	Mayr, Kerstin	Wermuth, Sebastian
Glaser, Irina	Menges, Manuel	Wiebe, Matthias
Götzinger, Moritz	Meyer, Sören	Wienken, Henrik
Gris Rueda, Claudio	Moos, Dirk	Wierzbowski, Adrian
Guljakow, Jürgen	Müller, Ulrich	Winter, Björn Oliver
Hanisch, Stefan	Namdar, Hava	Wünsch, Martin
Hennekes, Pascal	Panko, Ievgenii	Ziegert, Christopher
Herr, Henrik	Passon, Stephan	Zuther, Christian
Herweg, Wiebke	Pieniak, Tobias	
Hickisch, Timo	Preißler, Anne	
Hoppe, Stefan	Rakidzija, David	
Hugo, Marvin	Rauscher, Florian	

## 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 13/14
Elektrotechnik 1 für Maschinenbau	Prof. Engel	WS 13/14
Elektrotechnik 2 für Maschinenbau	Prof. Engel	SS 13
Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen	Prof. Engel	SS 13
Elektrische Energieanlagen I	Dr. Wilkening	WS 13/14
Elektrische Energieanlagen II	Dr. Wilkening	SS 13
Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke	Dr. Waitschat	WS 13/14
Energiewirtschaft im Wandel	Prof. Kurrat	SS 13
Grundlagen der elektrischen Energietechnik	Prof. Kurrat,	SS 13
Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure	Prof. Kurrat	WS 13/14
Hochspannungstechnik I	Prof. Kurrat	WS 13/14
Hochspannungstechnik II	Prof. Kurrat	SS 13
Innovative Energiesysteme	Prof. Engel	SS 13
Managementmethoden für Ingenieure	Dr. Knobloch	WS 13/14
Numerische Berechnungsverfahren	Prof. Kurrat	WS 13/14
Plasmatechnik	Prof. Kurrat	WS 13/14
Systemtechnik in der Photovoltaik	Prof. Engel	WS 13/14
Technologien der elektrischen Energienetze	Prof. Kurrat, Prof. Engel	SS 13
Technologien der Übertragungsnetze	Prof. Kurrat	WS 13/14
<b>Praktika</b>		
Innovative Energiesysteme - Praktikum	Prof. Engel	SS 13
Numerische Berechnungsverfahren - Rechnerpraktikum	Prof. Kurrat	SS 13
Praktikum Netzberechnung	Prof. Engel	SS 13 WS 13/14
Hochspannungstechnik - Praktikum	Prof. Kurrat	WS 13/14
Energetechnisches Kolloquium	Prof. Kurrat, Prof. Engel	SS 13, WS 13/14

**e-Learning Dezentrale Energiesysteme**

(WS 13/14) 2 V, 2 Ü

(zusammen mit 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 13/14) 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 13) 2 V, 1 Ü

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

**Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen**

(SS 13) 1 V

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

**Elektrische Energieanlagen I**

(WS 13/14) 2 V, 2 Ü

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

**Elektrische Energieanlagen II (und Lichtbogenplasmen)**

(WS 13/14) 2 V, 2 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 (Bachelor)** (WS 13/14) 2 V, 2 Ü  
 Elektrizitätswirtschaft als Teil der Energiewirtschaft • Probleme der Weltenergiewirtschaft •  
 Charakteristiken des Stromverbrauchs • Traditionelle Energieerzeugung • Regenerative  
 Energieerzeugung • Umweltaspekte der Energiegewinnung • Internationale Verbundwirt-  
 schaft der Elektrizitätswerke • Kosten der Energiegewinnung und -verteilung • Besonderhei-  
 ten des liberalisierten Strom-/Energiemarktes in Deutschland

**Energiewirtschaft im Wandel - Auswirkungen der Liberalisierung** (SS 13) 3 V, 1 Ü  
 Energiemarkt • Übertragungsnetz • Netzkennlinien-Regelung • Bereitstellung von Re-  
 gelenergie • Energiewirtschaft und -politik • Gewinnung und Speicherung von Windenergie  
 • Nachhaltigkeit • Energiehandel

**Grundlagen der elektrischen Energietechnik<sup>2</sup> (Bachelor)** (SS 13) 3 V, 1 Ü  
 (gemeinsam mit Prof. Henke und Prof. Meins)  
 Der von Prof. Kurrat und Prof. Engel vertretene Anteil beinhaltet: Grundzüge der elektrischen  
 Energiewirtschaft • Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung und elektrische Energieerzeu-  
 gung

**Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure (Bachelor)** (WS 13/14) 2 V, 2 Ü  
 Grundlagen des elektrischen und magnetischen Feldes • Grundzüge der Gleich- und Wech-  
 selstromtechnik • Einführung in die Drehstromnetze und Erneuerbare Energien

**Hochspannungstechnik I (u. Gasentladungsplasmen)** (WS 13/14) 3 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 • Ent-  
 stehung von Überspannungen: Gewitterentstehung, Blitzschutz, äußere und innere Überspan-  
 nungen • Wanderwellenphänomene: TEM-Welle, Transmission und Reflexion, Wellenersatz-  
 schaltbild, Mehrfachreflexion • Sicherheitsvorschriften • Grundprinzipien von Isoliersyste-  
 men • Gasförmige, flüssige und feste Isoliersysteme • Elektrische Festigkeit: Gasdurch-  
 schlag, Teilentladungen, Durchschlag in flüssigen und festen Isolierstoffen

**Hochspannungstechnik II** (SS 13) 3V, 1 Ü  
 In der Vorlesung werden die Grundlagen zur Durchführung und Bewertung von Hochspan-  
 nungs- 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 13) 2 V, 2 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 13/14) 2 V, 2 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 13/14) 2 V, 2 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 13/14) 2 V, 1 Ü

Plasmaphysikalische Grundlagen • Methoden zur Beschreibung von Plasmen • Plasmadiagnostik • Schaltgerätetechnik • Plasma-Werkstofftechnik.

### **Systemtechnik in der Photovoltaik**

(WS 13/14) 2 V, 2 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 (Bachelor)**

(SS 13) 2 V, 1 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen:

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

Diese Vorlesung wird ab dem WS 13/14 in die Vorlesungen „Technologien der Verteilungsnetze“ (SS14) und „Technologien der Übertragungsnetze“ (WS13/14) aufgeteilt und inhaltlich erweitert!

**Technologien der Übertragungsnetze (Bachelor)**

(WS 13/14) 3 V, 1 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen:

- Hochspannungstechnik • Smart Grid • Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung • Hochtemperatur-Supraleiter

## 2.2 Studienseminare - Student Lectures

*Hauke Loges, M.Sc.*

### WS 2012/2013 „Energietechnik von Morgen – Aktuelles aus der Forschung“

Im Wintersemester 2012/2013 fanden insgesamt 12 Vorträge zum Thema „Energietechnik von Morgen – Aktuelles aus der Forschung“ im Haus der Wissenschaft, Raum Veolia statt. Die Veranstaltung fand am 26. Februar 2013 statt.

Stephan Passon	Tesla-Transformator
Rolf Jongebloed	Blitzschutz in der Haustechnik
Rene Gorny	Wie entstehen Blitze?
Ievgenii Panko	Wärmepumpen in der Hausenergieversorgung und die Auswirkungen auf die Niederspannungsnetze
Stephan Weber	Zukünftige Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von Mini-Blockheizkraftwerken
Robin Schrader	Netzanbindung und Netzverträglichkeit von Elektromobilität
Henrik Wienken	Induktives Laden von Elektrofahrzeugen
Tobias Pieniak	Energiewende - deutscher Alleingang oder globaler Trend?
Hannes Homeyer	Wie viel Energiewende ist Sinnvoll
Natalia Goldmann	Regelung in der Energietechnik. Ein Überblick!
Rene Kohli	Verhalten dezentraler Erzeugungsanlagen im Fehlerfall
Sören Meyer	Der IGBT – Vom einzelnen Bauteil bis hin zum Modul

### SS 2013 „Neue Technologien im aktiven Verteilnetz und in der Elektromobilität“

Im Sommersemester 2013 wurden von den Studenten insgesamt 19 Vorträge zum Thema „Neue Technologien im aktiven Verteilnetz und in der Elektromobilität“ präsentiert. Auf Grund der großen Nachfrage durch die Studenten wurden die Seminarvorträge erstmals parallel am 8. August 2013 in zwei Räumen im Haus der Wissenschaft ausgerichtet.

Christian Alstadt	Wasserstoffbioreaktor
Samuel Monshausen	Renaissance der Nachtspeicherheizung?
Florian Lippold	Vergleich und Bewertung von vertikal- und horizontalachsigen Windkraftanlagen
Christoph Jennrich	Innovative Energieerzeugungsanlagen
Christian Maiberg	IKT in der Elektromobilität

Timo Stocklossa	Integration von elektrischen Energiespeichern in das Niederspannungsnetz
Hendrik Wehmeyer	Übersicht von stationären Speichern auf Basis der Li-Ion-Technologie
Sarah Halbach	Kühlkonzepte für Batterien in Fahrzeugen
Marius Kluge	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität – Was sagen die Automobilhersteller?
Daniel Weidemann	Sicherheit in der Elektromobilität
Christoph Alstadt	Fahrerassistenzsysteme – Chancen für die zukünftige Mobilität
Hava Namdar	Aufwindkraftwerk
Brian Paland	Think Blue Factory - Volkswagen
Fabian Ahrendts	Meeresenergie
Robert Urban	Inselnetze mit PV-Anlagen im Privatbereich
Julia Gartner	Energieeinsparungen in der Industrie
Christopher Ziegert	Spannung und Frequenz -Brauchen wir noch andere Informationen im Smart Grid?
Ole Marggraf	Energiesystem Ukraine
Natalia Merkel	Umbau der Netze - Stromnetz der Zukunft



Abbildung 1: Teilnehmer des Studienseminars im Sommersemester 2013

Figure 1: Participants of the Student Lectures in summer of 2013

### 2.3 Studienarbeiten - Student Research Projects

(Bearbeitungszeit 10 Wochen, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

Nils Kahlau	Entwicklung eines Modells zur Bewertung von Verbrauchsreduktion und Lastverschiebung hinsichtlich des vermiedenen CO <sub>2</sub> Ausstoßes ( <i>Funk</i> )
André Thomas	Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Blindleistungskennlinien auf die Blindleistungsbilanz von Niederspannungsnetzen ( <i>Unger</i> )
Warner Renke Ehlers	Eigenschaftsanalyse von Lithium-Ionen-Batteriezellen für den Industriebedarf ( <i>Westerhoff</i> )
David Rischbieter	Erarbeitung eines theoretischen Modellrahmens zur Simulation des EPEX Spotmarktes ( <i>Dammasch</i> )
Christine Spandau	Erarbeitung eines theoretischen Modellrahmens zur Simulation des EPEX Day-Ahead Marktes ( <i>Dammasch</i> )
Pia Dubray	Wirtschaftliche Untersuchung zu Kundenanlagen im Mittelspannungsnetz - Produktauswahl und Potentialanalyse für das Angebot von standardisierten Kundenstationen ( <i>Dammasch</i> )
Jörn Brandes	Optimierung des Eigenverbrauchs auf Haushaltsebene unter Einbeziehung der Komponenten Wärmepumpe, Photovoltaikanlage und elektrochemischen Speichersystemen ( <i>Laudahn</i> )
Christian Wurm	Analyse des Regulatorischen Umfelds des Smart Metering mit besonderem Augenmerk auf das BSI Schutzprofil ( <i>Funk</i> )
Andreas Kammerlocher	Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Grenzkosten von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ( <i>Dammasch</i> )
Britta Crone	Analyse des bilanziellen Speicherbedarfs in Deutschland ( <i>Unger</i> )
Eric Goedeke Joost	Analyse zukünftiger Marktformen im deutschen Energiemarkt ( <i>Unger</i> )
Alexander Brandies	Potentiale des E-Carsharings aus Kooperation der Beteiligten ( <i>Mummel</i> )

### 2.4 Diplomarbeiten - Diploma Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

Olaf Zindel	Optische Untersuchung des Lichtbogenverhaltens im engen Spalt bei Impulsbelastung ( <i>Schottel</i> )
Nicholas Hill	Teilentladungsmessungen und optische Untersuchungen von Gasblasen in flüssigem Stickstoff bei Blitzstoßbelastung ( <i>Blaz</i> )

Hannes Wiedermann	Entwicklung eines Simulationsmodells für die Erzeugungsprognose von Onshore-Windkraftanlagen und der Ermittlung des aktuellen Betriebszustandes ( <i>Dammasch</i> )
Pia Dubray	Technisch-wirtschaftliche Beschreibung eines Transformationsprozesses für die Kopplung einer bestehenden Mittelspannungsnetzstruktur an ein vorgegebenes 110 kV Zielnetz ( <i>Dammasch</i> )
Hans Furchner	Entwicklung eines Teststandkonzeptes zur Prüfung von Mini-KWK Anlagen ( <i>Dammasch</i> )
Maximilian Buder	Entwicklung eines Simulationsmodells für eine Kurzfristprognose von Ausgleichsenergiepreisen im elektrischen Energiemarkt ( <i>Dammasch</i> )
Magdalena Kaluza	Ausarbeitung eines Geschäftsmodells für einen autarken Energiecontainer in Betrachtung verschiedener Betriebsszenarien ( <i>Soyck</i> )
Walid Asimi	Implementierung eines Mehrfachvermarktungsansatzes zur Erlössteigerung dezentraler Energieerzeugungsanlagen ( <i>Gronstedt</i> )

## 2.5 Bachelorarbeiten - Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

David Rakidzija	Untersuchung zur Stromdichteverteilung im engen Spalt bei Impulsbelastung ( <i>Schottel</i> )
Lennart Schütze	Analyse transienter Schaltvorgänge von Hochleistungs-IGBT-Modulen einer Wechselrichterhalbbrücke unter Berücksichtigung von Resonanzeffekten ( <i>Binder</i> )
Daniel Weidemann	Technische Analyse von Methoden zur Spannungssymmetrierung über Hochleistungs-IGBT-Modulstacks ( <i>Binder</i> )
Sebastian Hauschildt	Performanceanalyse einer Batterie eines umgerüsteten Elektrorollers ( <i>Westerhoff</i> )
Tuan Minh Trinh	Modellierung des stromabhängigen Alterungsverhaltens von Li-Ion-Batteriezellen ( <i>Westerhoff</i> )
Guy C. Kue Mouoffo	Untersuchung von Konzepten zur Gebäudeenergieversorgung mit Gleichspannung ( <i>Munzel</i> )
Gary Hohlstein	Entwicklung eines Simulationsmodells für die Energieversorgung des Campus der TU Braunschweig ( <i>Munzel</i> )
Sebastian Wermuth	Parametrierung eines Ersatzschaltbildes einer Lithium-Ionen-Batteriezelle basierend auf der elektrochemischen Impedanzspektroskopie ( <i>Westerhoff</i> )

Mark Klippert	Inbetriebnahme, Durchführung und Auswertung von Abbranduntersuchungen an Isolierstoffen für den Einsatz in einer Schaltkammeranordnung ( <i>Köpf</i> )
Christian Schramm	Recherche zum Überspannungsschutz in der Elektromobilität sowie Erstellung einer Konzeptidee ( <i>Schottel</i> )
Stephan Weber	Erstellung eines Modells zur Ermittlung von Verschiebepotentialen für die Betriebszeiten von Mini-Blockheizkraftwerken ( <i>Dammersch</i> )
Zahide Cengil	Berechnung der Degradationsmechanismen bei Mikroentladungen ( <i>Hilbert</i> )
Robin Schrader	Aufbau und Untersuchung eines aktiven Gleichrichters mit Blindleistungseinspeisung ( <i>Soyck</i> )
Carsten Mank	Gegenüberstellung unterschiedlicher Modellierungsansätze von Li-Ion-Batteriezellen ( <i>Westerhoff</i> )
Stefan Urbanek	Untersuchung elektromechanisch angetriebener Schaltgeräte für den Einsatz in automobilen HV-Bordnetzen ( <i>Köpf</i> )
Dorothea Kaluza	Weiterentwicklung einer Simulationsumgebung für ein Hochvolt-Bordnetz in der Elektromobilität ( <i>Hauck</i> )
Timo Stocklossa	Potentialanalyse zur Integration von Elektrofahrzeugen in das bestehende Energieversorgungsnetz der TU Braunschweig ( <i>Mummel</i> )
Jannik Gutbrod	Ermittlung der Anforderungen an eine DC Ladestation ( <i>Mummel</i> )
Sebastian Funda	Konzeption und Errichtung einer bidirektionalen AC Ladestation ( <i>Mummel</i> )
Philipp Fath	Ermittlung des Reduzierungspotentials der Treibhausgasemissionen einer konventionellen Fahrzeugflotte durch den Einsatz von alternativ angetriebenen Fahrzeugen ( <i>Mummel</i> )
Anne Lena Vaske	Konzeptionierung eines stationären Energiespeichers zur Ladung von Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung ökonomischer und technischer Aspekte ( <i>Mummel</i> )
Cornelia Beyer	Bewertung von Plug-in-Hybridfahrzeugen als Energiequelle /-senke im Energieverteilnetz ( <i>Bellin</i> )
Florian Lippold	Aufarbeitung von Last- und Erzeugungsprofilen mit Hilfe eines Matlab basierten Tools zur Anwendung in Niederspannungsnetzen ( <i>Bunk</i> )
Martin Wunsch	Experimentelle Ermittlung der Feldstärke eines Lichtbogens im engen Spalt ( <i>Schottel</i> )
Florian Rauscher	Optische Analyse der Thermo-Feld-Emission einer Plasmaausbreitung im engen Spalt bei Impulsbelastung ( <i>Schottel</i> )

Henrik Herr	Simulation von PV-Anlagen mit mehrfach genutztem Speicher ( <i>Funk/Soyck</i> )
Hendrik Wehmeyer	Entwurf von DPL-basierten Algorithmen zur Ergebnisauswertung von Lastprofilen in dilsilent power factory ( <i>Bunk</i> )
Sonja Spille	Entwicklung eines Gleichstromsystems zur effizienten Integration erneuerbarer Energiequellen ( <i>Munzel</i> )
Henning Weege	Konzeptionierung der zukünftigen Energieversorgung des Campus der TU Braunschweig mit Fokus auf Kraft-Wärme-Kopplung ( <i>Munzel</i> )
Christiane Kurrat	Auslegung und Bewertung eines Gleichstromsystems für eine energieeffiziente Arbeitsumgebung ( <i>Munzel</i> )
Daniel Urbschat	Ermitteln und Verifizieren von Systemparametern in praktischen Stromhaushaltsversuchen ( <i>Westerhoff</i> )
Sarah Halbach	Untersuchung verschiedener Schaltungstopologien zur Zellsymmetrierung von Batteriesystemen in Elektrofahrzeugen ( <i>Westerhoff</i> )
Erik Weinrich	Messmethoden und -verfahren zur Messung von Kondensatbildung in Hochvolt-Batteriesystemen für Elektrofahrzeuge ( <i>Hauck</i> )
Domenique Deichmann	Untersuchung alternativer Entladungsmöglichkeiten von Li-Ion-Batterien aus Elektrofahrzeugen in Flüssigkeiten für einen Recyclingprozess ( <i>Hauck</i> )
Eugen Chernyak	Beschaffung von Systemdienstleistungen im ENTSO-E ( <i>Unger</i> )
Sascha Möser	Modellierung des EPEX Day-Ahead-Spotmarktes für Deutschland über eine Implementierung in MATLAB ( <i>Unger</i> )
Dominik Stolz	Konzeption eines Hochvolt-Bordnetz Demonstrators ( <i>Mummel</i> )
Johannes W. Wijtenburg	Auswirkungen innovativer Antriebskonzepte auf die Produktion ( <i>Mummel</i> )
Annika Klettke	Einbindung eines Energiemarktmodells in das Fahrplanmanagement dezentraler Energieanlagen ( <i>Gronstedt</i> )
Marie Heiduk	Ableitung von Zeitreihen zur Prognose zur Energiebereitstellung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen ( <i>Gronstedt</i> )

## 2.6 Masterarbeiten - Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate, sortiert entsprechend der zeitlichen Abfolge)

Fridolin Muuß	Integration von Elektrolysetechnologien in das bestehende Stromnetz zur Steigerung der Windenergieausnutzung ( <i>Westerhoff</i> )
---------------	--

Simon Delles	Konzeption eines Gleichstromprüflabors ( <i>Köpfung</i> )
Hauke Loges	Erstellung eines Systemmodells zur technisch-ökonomischen Analyse der Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Energiewirtschaft ( <i>Haupt</i> )
Christoph Klosinski	Untersuchung von Schalt- und Schutzkonzepten für den Einsatz in HV Bordnetzen ( <i>Köpfung</i> )
Ole Marggraf	Hardwaresimulation eines regelbaren Ortsnetztrafos ( <i>Laudahn</i> )
David Rischbieter	Erstellung eines Konzeptes für die Energieversorgung (Strom und Wärme) eines Quartiers mit erneuerbaren Energien in der Stadt Bocholt ( <i>Dammach</i> )
Tobias Pieniak	Konzeption und Inbetriebnahme eines Lab-View-gesteuerten Prüfstandes zur Untersuchung von Vakuumschaltkammern für DC-Anwendungen ( <i>Ermel/Gramberg</i> )
Christoph Lepper	Ableitung von Szenarien für die zukünftige Energieversorgung mit besonderem Fokus auf den Elektrizitätsmarkt ( <i>Gronstedt</i> )

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

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

##### **Technisch-Wirtschaftliche Bewertung statischer Spannungshaltung in Niederspannungsverteilsnetzen**

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

Bis zum heutigen Tage findet die Planung von Niederspannungsverteilsnetzen in der Regel auf Basis von Belastungsannahmen, z.B. Gleichzeitigkeitsfaktoren für Haushaltskunden statt. Diese wurden aus empirischen Untersuchungen abgeleitet und stellen die bisherige Grundlage zur Dimensionierung der Netze dar. Für weiterführende Betrachtungen, insbesondere zur Analyse hinsichtlich der Spannungshaltung in den Energieverteilungsnetzen, ist dieses Vorgehen jedoch nicht ausreichend. Zur Identifikation von Grenzwertverletzungen ist eine zeitliche Überlagerung der integrierten Technologien, wie z. B. Wärmepumpen, elektrische Straßenfahrzeuge und Photovoltaikanlagen notwendig. Am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) der TU Braunschweig wurden daher in den vergangenen Monaten zeitabhängige Last- und Erzeugungsannahmen der genannten Komponenten in einer 1-minütigen Auflösung für den Zeitraum eines Jahres entwickelt (Abbildung 2).

Aufbauend auf den zeitabhängigen Last- und Erzeugungsannahmen findet in der aktuellen Forschungsarbeit eine Migration der anerkannten Netzberechnungssoftware DigSILENT PowerFactory© statt. Hierzu werden unterstützende Algorithmen mit Hilfe der internen Programmiersprache DPL (DIgSILENT Programming Language) entwickelt, die insbesondere das Handling einer *Vielzahl von Zeitreihen* sowie die Auswertung und Komprimierung der Netzberechnungsergebnisse vereinfachen. Weiterhin werden Maßnahmen zur statischen Spannungshaltung für Niederspannungsverteilsnetze modelliert. Hierbei wird der Einfluss eines regelbaren Ortsnetztransformators sowie einer Blindleistungseinspeisung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit im Netz überprüft. Abschließend findet eine komplexe Lastflussberechnung statt, die einen technisch notwendigen Netzausbaubedarf identifizieren kann.

Beim Netzbetrieb sind neben den auftretenden Störungen auch Einschränkungen in der Versorgungsqualität sowie Überlastungen der Betriebsmittel ohne Versorgungsausfall zu vermeiden. Von besonderer Bedeutung ist hier die Spannungsdifferenz an Leitungen. Sie kann sich als Spannungsfall aus verlustbehafteten Leitungen ergeben oder als Spannungsanhebung in Folge von kapazitiven Belastungen im Leerlauf oder einer Einspeisung durch Erzeugungsanlagen. Grundsätzlich kann durch die Erhöhung des Querschnitts der Wirkwiderstand reduziert

werden. Weiterhin wird der Wirkwiderstand durch die Auswahl des verwendeten Materials bestimmt. Damit stellt der klassische Netzausbau *eine* Möglichkeit zur Einhaltung der Spannungsgrenzen dar.

Neben den klassischen Netzausbaumaßnahmen können auch Synchrongeneratoren und Umrichter einen Beitrag zur Spannungshaltung im Niederspannungsnetz leisten. Moderne Vier-Quadranten-Wechselrichter sind in der Lage, Blindleistung zu beziehen bzw. abzugeben. Dadurch ist ein Beitrag zur Stabilisierung der Spannung möglich, der jedoch nur durch die Bereitstellung zusätzlicher Wechselrichterleistung erzielt werden kann. Eine weitere Maßnahme zur Beeinflussung der Netzspannung in den Niederspannungsverteilstnetzen stellt der regelbare Ortsnetztransformator (rONT) dar. Durch den Einsatz eines rONT ist es möglich, die Aufnahmefähigkeit des Niederspannungsnetzes für dezentrale Erzeugungsanlagen deutlich zu erhöhen.

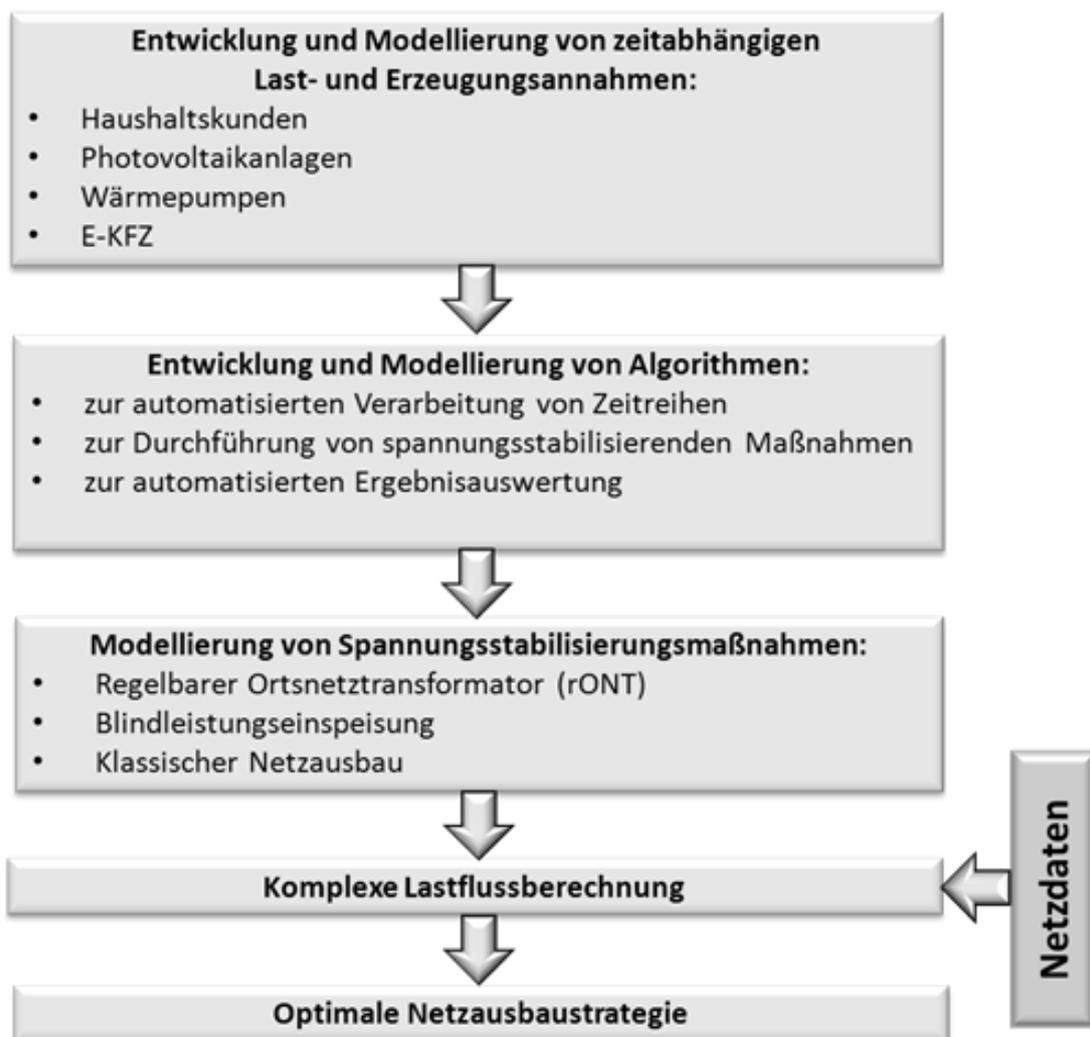


Abbildung 2: Struktur der Forschungsarbeit

Figure 2: Structure of research

### **Technical and Economic Evaluation of voltage stabilization measures in low-voltage distribution networks**

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

To this day, the design of low-voltage distribution will take place on the basis of load assumptions. For the identification of limit violations of new technologies (eg heat pumps, electric road vehicles and photovoltaic systems) time scales are needed. Therefore, time-dependent load and generation assumptions of these components for a period of one year have been developed in the past few months (Figure 2).

Based on the time-dependent load and generation assumptions, the migration of software DIgSILENT Power Factory© is performed. For this purpose supporting algorithms are developed. Furthermore, voltage stabilization measures are modelled for low voltage distribution networks. Here, the influence of a variable local power transformer and a reactive power supply is tested for its effectiveness. Finally, there will be a complex load flow calculation, which can identify a necessary network expansion.

### **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.

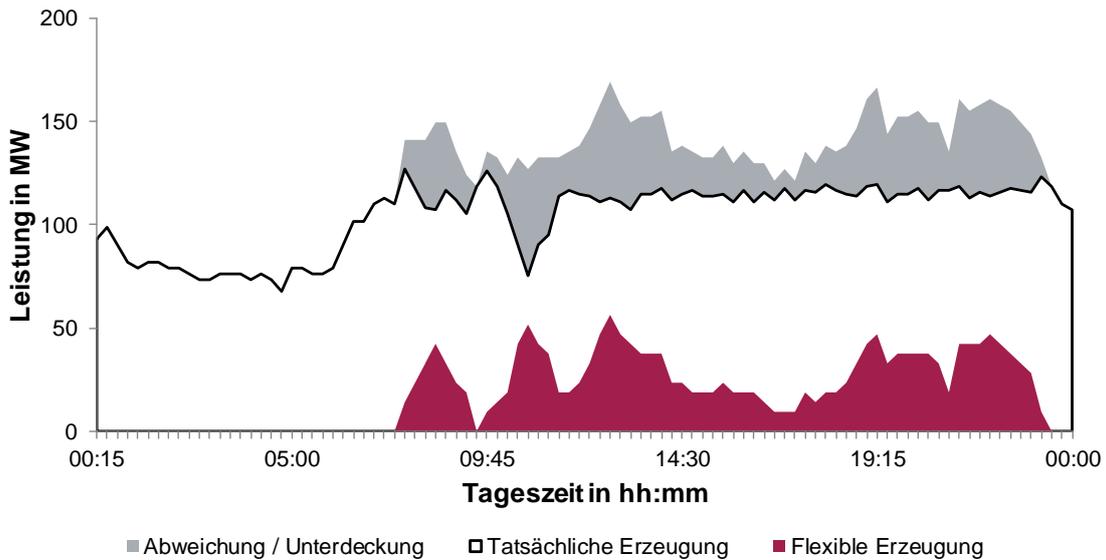


Abbildung 3: Bilanzkreisausregelung durch flexible Blockheizkraftwerke  
 Figure 3: Using flexible CHP-units for regulating the balancing group

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.

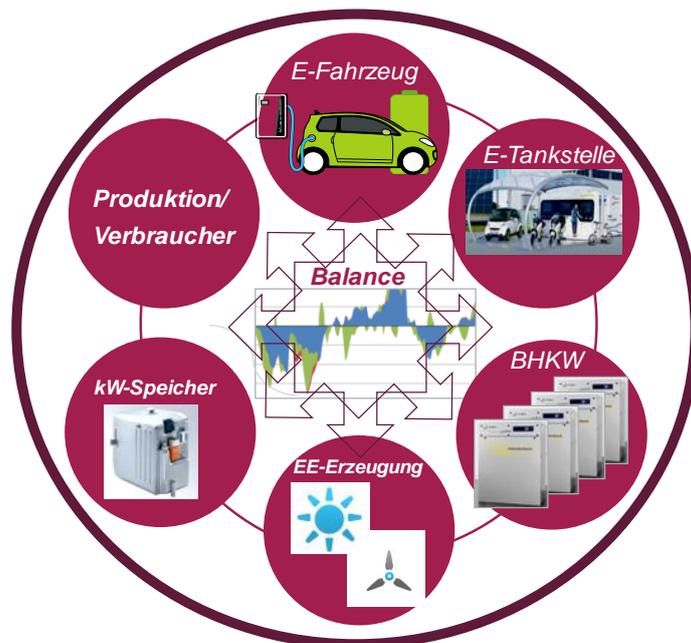


Abbildung 4: Teilnehmer einer Bilanzkreissimulation  
 Figure 4: Participants of a virtual balancing group

### **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 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.

### **Informations- und kommunikationstechnische Lösungen zur Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch als wesentlicher Bestandteil des intelligenten Energiesystems der Zukunft**

*Stephan Diekmann, M.Sc.*

Mit der Energiewende gehen grundlegende Veränderungen bei der Erzeugung und Bereitstellung elektrischer Energie einher. Ein zunehmend geforderter Verzicht auf fossile Primärenergieträger auf der einen und die vermehrte Integration erneuerbarer Energien auf der anderen Seite stellen Wissenschaft und Praxis vor große Herausforderungen bei der Anpassung der Infrastruktur.

Dieser limitierende Faktor macht einen Paradigmenwechsel notwendig. Das althergebrachte Prinzip *Erzeugung folgt Last* muss zukünftig dahingehend angepasst werden, dass die Last der Erzeugung folgt. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sind einer der Schlüsselfaktoren, um den Paradigmenwechsel zu vollziehen. Die datentechnische Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch trägt maßgeblich zur notwendigen Harmonisierung dieser beiden Größen bei.

In diesen Kontext gliedert sich die Forschungsthematik ein. Unterschiedliche Erzeuger und Verbraucher werden im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte hinsichtlich ihrer IKT-Anbindung betrachtet. Der Fokus liegt dabei bisher auf dem Monitoring und der Steuerung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und soll zukünftig sowohl auf Haushaltsebene (Smart Home) als auch übergreifend (Smart Grid) auf weitere Gewerke ausgedehnt werden. Der Betrachtungshorizont reicht von Kommunikationskanälen über Protokollvarianten und damit verknüpfte Datenmengen bis hin zu Steuerungs- und Anwendungsszenarien. Es werden einzelne Komponenten sowie deren Verbund betrachtet.

## ICT solutions for linking the energy production and consumption as a key component of the intelligent energy system of the future

*Stephan Diekmann, M.Sc.*

The future energy system increasingly consists of decentralized energy resources. This development requires a paradigm change. The energy production can no longer follow the consumption due to the volatility of wind and sunshine. Prospectively the consumption has to follow the energy production.

Information and communication technologies (ICT) are one of the key factors to make this modification possible by connecting production and consumption. Different energy producers and consumers are considered in the context of several research projects regarding their ICT connectivity. So far, the focus is on the monitoring and controlling of charging infrastructure and to the future both at household level (smart home) and across (smart grid) be extended to other components. The studies range of communication channels, protocol variants and thus linked data sets to control and application scenarios. Individual components and their composite are considered.

## Konzepte zur effizienten Verbrauchereinbindung mittels intelligenter Zähl- und Messtechnik

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

Im Rahmen des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung wird dem intelligenten Zähl- und Messwesen ein Beitrag von rund 11% zur Reduzierung der CO<sub>2</sub> Emissionen beigemessen. Ansatz des Forschungsvorhabens ist es, über ein intelligentes Zähl- und Messwesen den Letztverbraucher und damit schlussendlich den handelnden Menschen direkt anzusprechen und

zu einem erhöhten Energiebewusstsein zu verleiten. Dadurch wird eine Reduktion des Verbrauchs, aber auch eine Verschiebung des Verbrauchs in Zeiten mit hoher regenerativer Einspeisung angestrebt. Neben dem Anreiz mo-

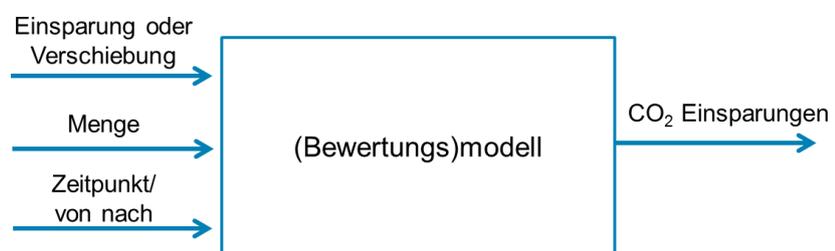


Abbildung 5: Schematisch Modelldarstellung

Figure 5: Schematic representation

netärer Einsparpotentiale durch Smart Meter sollen auch CO<sub>2</sub> Einspareffekte dem Kunden sichtbar gemacht werden. Daher wird ein Modell zur Bewertung von Verbrauchsreduktion und Lastverschiebung hinsichtlich des vermiedenen CO<sub>2</sub> Ausstoßes erstellt (s. Abbildung 5).

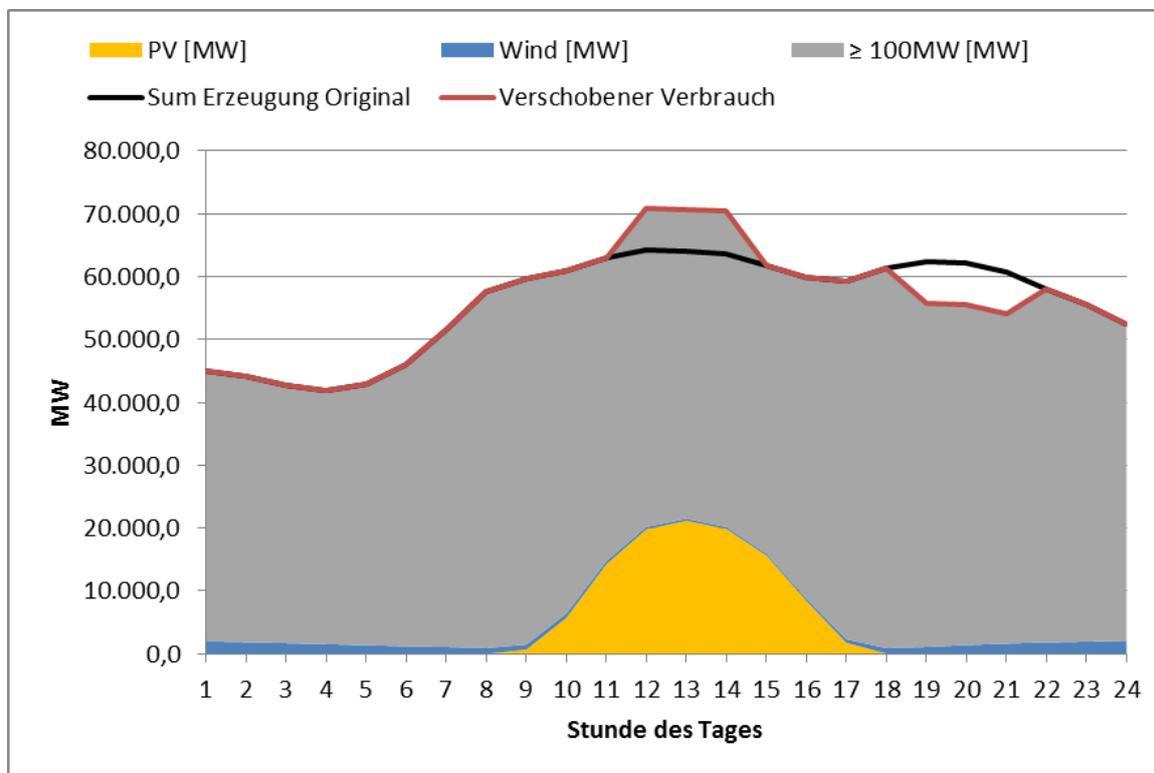


Abbildung 6: Beispielhafte Lastverschiebung

Figure 6: Load Shifting Example

Ziel ist es, eine Aussage treffen zu können, ob es besser\* ist, zum Zeitpunkt X Strom zu sparen, als zum Zeitpunkt Y und ob es besser\* ist, den Stromverbrauch von X nach Y zu verschieben, als von Z nach A (\*besser im Sinne von „vermeidet mehr CO<sub>2</sub> Emissionen“) (s. Abbildung 6). Die hieraus gewonnen Erkenntnisse sollen in die Gestaltung der Benutzeroberfläche des In-Home-Displays mit einfließen. Darüber hinaus können die Ergebnisse Grundlage für neue zeit- und lastvariable Tarife bilden.

### Concepts for efficient consumer involvement with intelligent metering systems

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

Reducing CO<sub>2</sub> emissions is a key point of the integrated energy and climate change program introduced by the Federal Government of Germany. Thereby Smart Meters should play a significant role. This research project wants to make customers aware of their own energy consumption with the help of Smart Meters and encouraged them to reduce and shift their energy consumption. In this connection not only the monetary value of the saving or shifting shall be

displayed but also a CO<sub>2</sub> equivalent. Therefore a model is set up, that evaluates the savings and shifting in matters of reducing CO<sub>2</sub> emissions (see Figure 5). The aim is to make a statement, whether it is better to save power at the time X, as the time Y, and whether it is better to postpone the consumption of X to Y then Z to A (\* better in terms of "avoiding more CO<sub>2</sub> emissions") (see Figure 6). The insights gained from this will feed into the design of the user interface of the In-Home Display. Moreover, the results may form the basis for new time-and load-dependent tariffs.

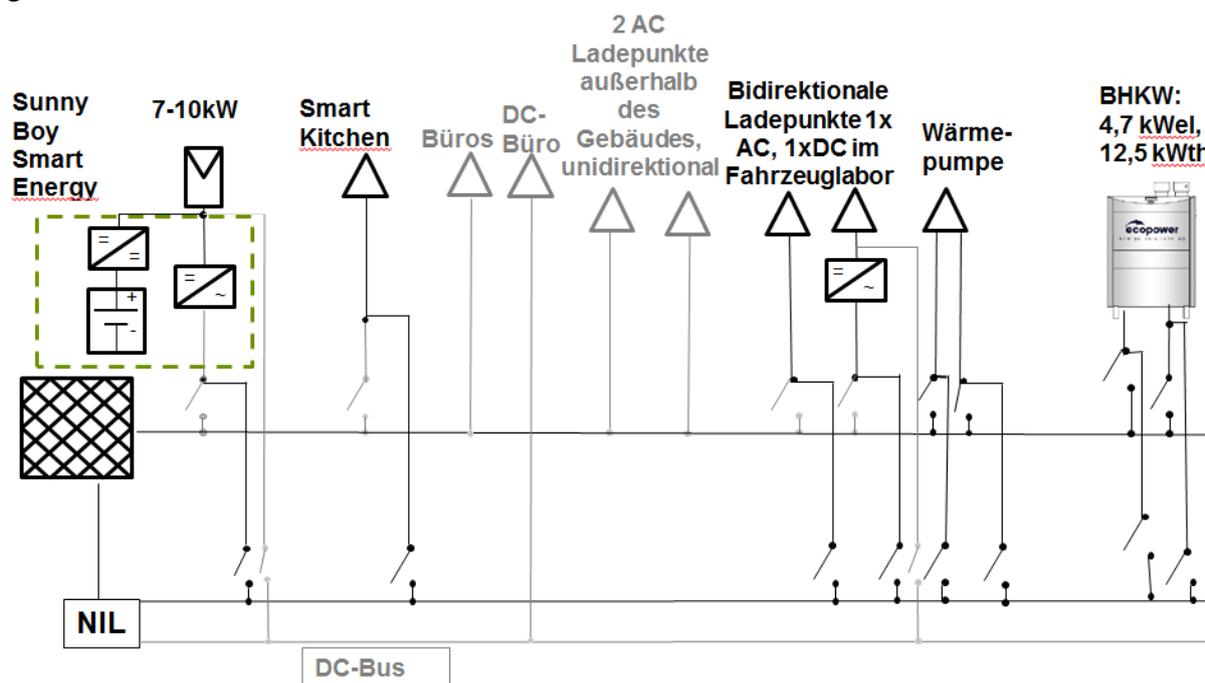
## **Energy Toolkit**

*Dipl.-Ing. Stefanie Koch*

Spätestens mit der Verabschiedung des Energiekonzepts der Bundesregierung im Frühjahr 2011 und ihrer eindeutigen Absichtserklärung, den Energiebedarf bis 2050 zu 60 % aus regenerativen Energien zu decken, wird der Umbau unserer Gebäude und Städte einschließlich ihrer Versorgungskonzepte real. Für die Entwicklung dieser Versorgungskonzepte stehen heute nur Planungs- und Überwachungswerkzeuge aus einzelnen Disziplinen zur Verfügung. Gebäudesimulationen können den Energiebedarf von einzelnen Objekten abbilden, werden jedoch in erster Linie zur Auslegung von Anlagen und nicht in Bezug auf ihre Wirkung im Netz eingesetzt. Für die Planung der Netze stehen wiederum keine geeigneten stochastischen Daten aus dem Gebäudebestand zur Verfügung, insbesondere nicht für die relevanten Szenarien ab 2020. Entsprechend können zurzeit auch keine optimierten Regelstrategien für den integrierten Betrieb von Netzen und Gebäuden entwickelt werden.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das elenia mit der Bestandsaufnahme der elektrischen Netze und zeigt das Entwicklungspotential der elektrischen Infrastruktur in Bezug auf die hierbei auftretenden Planungs- und Transformationskosten auf. Darüber hinaus erarbeitet es auf Basis von synthetisch generierten und gemessenen Daten Last- und Energieerzeugungsprofile für die Komponenten Haushalte, Photovoltaikanlagen, Mini-Blockheizkraftwerke, Wärmepumpen und Elektro-Fahrzeuge zur Bestimmung des elektrischen Energiebedarfs eines ausgewählten Netzbezirkes. Nach erfolgter Definition von geeigneten Szenarien werden darauf abgestimmte Maßnahmen zur Reduktion des notwendigen Netzausbaus entwickelt. Durch ein intelligentes Fahrplanmanagement für Wärmepumpen und Mini-BHKW in Verbindung mit einem thermischen Pufferspeicher kann eine zeitliche Entzerrung der auftretenden elektrischen Spitzenlast erfolgen. Ein weiteres Ziel innerhalb des Forschungsprojektes ist es, den sich aktuell im Aufbau befindenden Versuchsstand „Aktives Verteilnetz“ zu erweitern. Dieser Versuchsaufbau ermöglicht die technische Nachbildung eines kleinen Niederspannungsnetzbezirkes (siehe nachstehende Abbildung 7). Neben den Komponenten der Haushaltslasten und Leitungsnachbildungen verfügt die Laborausstattung

bereits über mehrere Gleichspannungsquellen zur Nachbildung von PV-Anlagen, einer Wechselspannungsquelle (AC-Quelle) zur Nachbildung eines (regelbaren) Ortsnetztransformators sowie über ein Mini-BHKW zur Kopplung von thermischen und elektrischen Verbrauchsprofilen. Im Rahmen der Projektlaufzeit wird der Versuchsstand um mehrere AC-Lasten zur Nachbildung von elektrischen Profilen (z.B. Haushaltslasten, Wärmepumpenlasten) erweitert. Abschließend wird darüber hinaus ein Gebäudeautomatisierungssystem implementiert und getestet.



NIL: Netzintegrationslabor

Abbildung 7: Konzept zur Erweiterung des Versuchsstandes „Aktives Verteilnetz“

Figure 7: Concept to extend the laboratory “Active distribution network“

## Energy Toolkit

*Dipl.-Ing. Stefanie Koch*

To realize the ambitious goals of our national government concerning energy policy, it is necessary to develop tools for planning and controlling supply integrated concepts for cities and mains operation. It is true that there are already tools to simulate buildings, but these are mostly used for the design of plants and not to analyze their impacts on the operation of network. On the other hand engineers for networks have no relevant information about statistic building data. Therefore, one of the tasks of the elenia on their way to develop optimized strategies for the integrated operation of networks and buildings is to model time-dependent load and generation profiles of households, PV, mini-CHP, heat-pumps and electric vehicles. Besides, we evolve different measures e.g. with the help of new operational concepts of different renewable and decentralised power plants to find out new ways to reduce the required

network expansion for the expected future scenarios. To evaluate our research results attained by simulations, we have to extend our laboratory “Active distribution network” (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) to be able to compare both to each other.

### **Einfluss der Inselnetzerkennung auf den Netzschutz**

*M.Sc. Stefan Laudahn*

Der Ausbau von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) insbesondere auch von Photovoltaikanlagen nimmt weiterhin stetig zu. Unter dem zu erwartende Ausbau von Batteriespeichersystemen in Verbindung mit Photovoltaikanlagen steigt damit die Wahrscheinlichkeit von Inselnetzbildungen an, da Erzeugung und Verbrauch aneinander angeglichen werden und damit die Voraussetzungen für eine Inselnetzbedingungen aktiv geschaffen werden.

Insbesondere ist in der Mittelspannung die Situation interessant, in der ein Teilnetz kurzzeitig abgeschaltet wird in dem sich noch DEA befinden. Kommt es in diesem Teilnetz zu einer Inselnetzbildung, schalten die DEA zunächst nicht ab. Erfolgt nach einer kurzen Zeit von üblicherweise 300 ms eine automatische Wiedereinschaltung (AWE) werden zwei asynchrone Netze zusammenschaltet, was zu Schäden an den Betriebsmitteln führen kann. Entsprechende Fälle von Inselnetzbildungen über mehrere Minuten hinweg in Mittelspannungsnetzen sind dokumentiert.

Von vielen Netzbetreibern gibt es die Bestrebung, insbesondere die Funktionen der dynamischen Netzstützung und der Inselnetzerkennung gemeinsam zu aktivieren. Prinzipiell stellt diese Forderung ein Problem dar, da die Inselnetzerkennung versucht, ein entsprechendes Netzteil zu destabilisieren und die Anlage so schnell wie möglich abschalten sollen. Die dynamische Netzstützung hingegen versucht das genaue Gegenteil. Das Netz soll im Fehlerfall stabilisiert und eine Abschaltung verzögert werden. Diese zwei Forderungen konkurrieren nun direkt miteinander, was den gleichzeitigen Einsatz erschwert. Bisher gibt es für diesen Fall keine konkrete Handlungsempfehlung. Zur Untersuchung der Fragestellung wurde ein Wechselrichtersimulationsmodell erstellt, mit dem eine dynamische Simulation von Wechselrichtern im Zusammenspiel mit dem Netzschutz erfolgen kann.

Der Funktionsumfang des entwickelten Wechselrichtermodells umfasst die wesentlichen Funktionen eines heute üblichen Wechselrichters

- Dynamische (eingeschränkte) Netzstützung
- Blindleistungssteuerung ( $\cos \phi$  (P) oder Q(U))
- 50,2 Hz – Regelung
- Inselnetzerkennung mit Frequenz-Shift-Verfahren

Durch Messungen im institutseigenen Netzintegrationslabor an Wechselrichtern vom Typ SMA STP9000 war es möglich, das Simulationsmodell an das reale Wechselrichterverhalten anzupassen und so Übereinstimmung von reellem und simuliertem Wechselrichterverhalten bis in den Periodenbereich hinein zu erreichen. Damit wird die Realitätsnähe der Simulationen gewährleistet. Das Modell ermöglicht weiterhin eine Untersuchung des Verhaltens von einer Vielzahl an Wechselrichtern die unter Umständen auch unterschiedliche Parametriert sein können. Die Simulation von komplexeren Netzstrukturen wird damit möglich.

Die Simulationen geben einen Überblick über die möglichen Reaktionen eines Wechselrichters in Fehlersituationen und ermöglichen es Schlussfolgerungen daraus abzuleiten. Es werden Handlungsempfehlungen für die Parametrierung von Wechselrichtern unter Netzschutzaspekten zu geben. Die Simulation des Wechselrichterstroms und der Spannung am Netzananschlusspunkt eines beispielhaften Fehlerfalls in einem Beispielnetz bei unterschiedlicher Parametrierung des Wechselrichters sind in Abbildung 8 dargestellt.

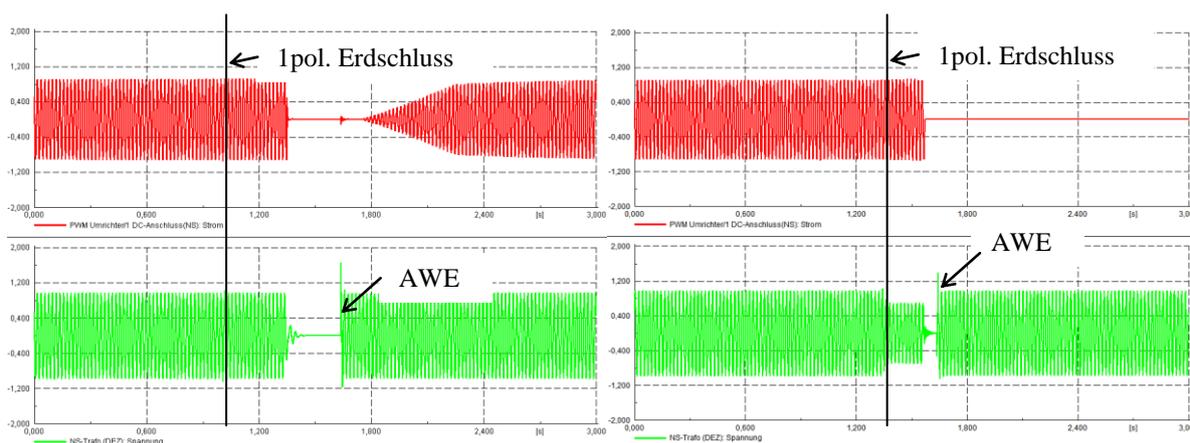


Abbildung 8: Strom  $i(t)$  (Rot) und Spannung  $u(t)$  (Grün) eines Wechselrichters bei Auftreten eines einpoligen Erdschlusses in der Mittelspannung mit folgender AWE des Schalters S1. Links: Parametrierung mit eingeschränkter dynamischer Netzstützung. Rechts: Parametrierung ohne Netzstützung und erweiterter Abschaltzeit.

Figure 8: Inverter-current  $i(t)$  in red and -voltage  $u(t)$  in green during an phase to earth fault on the mv-busbar with following reclosure action of the circuit breaker S1. Left: inverter parameter settings with zero-power-mode. Right: inverter parameter settings without low-voltage-ride-through capability

## **The Influence of Islanding Detection Methods on the Grid Protection**

*M.Sc. Stefan Laudahn*

The expansion of distributed generation (DEA) in particular, of photovoltaic-systems continues to increase steadily. The expected expansion of battery storage systems in conjunction with photovoltaic systems leads to an increase of the probability of unintentional islanding. In particular in the medium voltage systems the situation is interesting in which a sub-network is switched off for a short time and islanding conditions are available. If after a short period of typically 300 ms automatic relaying (AR) is done, two asynchronous networks connected together, which can result in damage to the equipment.

Some network operators are trying to combine active anti-islanding systems and the functions of the dynamic grid support. In principle, this requirement presents a problem because the islanding detection attempts to destabilize an appropriate power supply and to switch off the system as soon as possible. The dynamic grid support, however, tries the exact opposite. The network should be stabilized in case of failure and a delayed shutdown. These two requirements are now competing directly with each other, which leads to some challenges. A dynamic inverter simulation model was created to simulate these situations and try to find solutions for this challenge.

The functionality of the developed inverter model includes the essential functions of a conventional inverter today

- Dynamic (limited) network support
- Reactive power control ( $\cos \varphi$  (P) or Q (U))
- 50.2 Hz – Control
- Islanding detection with frequency-shift procedure

By measurements in the institute's grid integration laboratory of inverters type SMA STP9000 it was possible to adapt the simulation model to the real inverter behavior and thus to achieve conformity of simulated and real. The model also permits an investigation of the behavior of a variety of inverters under certain circumstances and with different parameters. The simulation of complex network structures becomes possible.

## **Entwicklung und Modellierung zeitabhängiger Last- und Erzeugungsannahmen für die Niederspannung**

*M.Sc. Hauke Loges*

Die heutige Netzplanung von Niederspannungsnetzen wird auf Basis von Belastungsannahmen durchgeführt. Belastungsannahmen sind statische Werte ohne zeitlichen Bezug. Diese

Herangehensweise ermöglicht eine Planung aller bisherigen Lastszenarien im Sinne einer „Worst-Case-Betrachtung“. Im Zuge der Energiewende werden in der Netzplanung zukünftig weitere Anwendungsgebiete Einzug erhalten. Dazu zählen neben dem Stufungsverhalten eines regelbaren Ortsnetztransformators vor allem die Betriebsstrategien elektrischer Speicher, energetische Betrachtungen, Lastverschiebungen sowie Tarifsteuerungen. Deutlich besser als Belastungsannahmen eignen sich für diese Anwendungsgebiete Profile mit einem zeitlichen Bezug. Bei der Tarifsteuerung ist eine zeitliche Auflösung von 15-Minuten ausreichend. Für alle anderen Anwendungsgebiete sollte mindestens eine 1-minütige Auflösung gewählt werden. Zudem müssen bei der Betrachtung von zukünftigen Lastszenarien optionale Technologien wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge oder Photovoltaik-Speichersysteme ebenfalls Berücksichtigung finden.

Am elenia Institut sind verschiedenen Profilgeneratoren für die oben genannten Technologien entwickelt worden. Auf Basis dieser entwickelten Profile werden im nächsten Jahr die Betriebsweisen elektrischer Speicher in Haushalten untersucht.

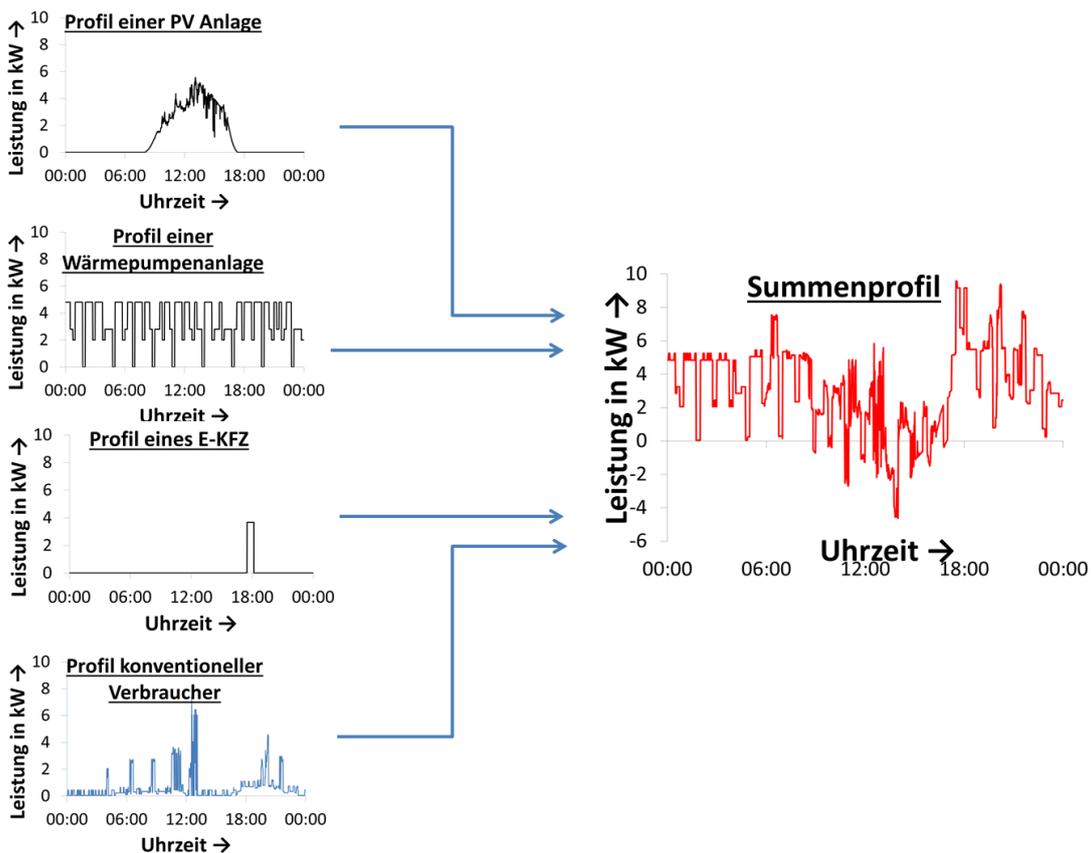


Abbildung 9: Überlagerung von neuen Technologien zu einem neuen Summenprofil

Figure 9: Superposition of new technologies to a new profile

## Development and modeling of time-dependent load and generation assumptions for the low voltage

*M.Sc. Hauke Loges*

The current network planning of low voltage networks is carried out on the basis of load assumptions. Load assumptions are static values without temporal reference. This approach allows all previous load planning scenarios in terms of a "worst case scenario". As part of the energy turnaround more applications will get entry into the future network planning. This mainly includes the operating strategies of electrical storage systems, energy considerations, load shifting and tariff controlling. Significantly better than load assumptions are profiles with temporal reference. In the tariff control a temporal resolution of 15 minutes is sufficient. For all other of these applications at least 1-minute resolution should be used. In future load scenarios must also be considered optional technologies such as electric heat pumps, electric vehicles or photovoltaic storage systems.

At elenia Institute different profile generators have been developed for the above-mentioned technologies. Based on these profiles I will examine the operations of electric storage systems in households next year.

## Aktive Spannungsstützung beim Laden von Elektrofahrzeugen mit großer Leistung

*M.Eng. Frank Soyck*

Batteriebetriebene elektrische Liniensbusse benötigen eine Möglichkeit im Betrieb schnell nachzuladen. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Elektromobilität mittels induktiver Ladung“ (emil) wird die induktive Ladung von Elektrobussen im Linienverkehr mit einer Leistung von 200 kW untersucht.

Für das Projekt emil wurde die 12 km lange Ring-Linie M19 ausgewählt, die wochentags im 10-Minuten Takt verkehrt. Durch die besonders starke Frequentierung

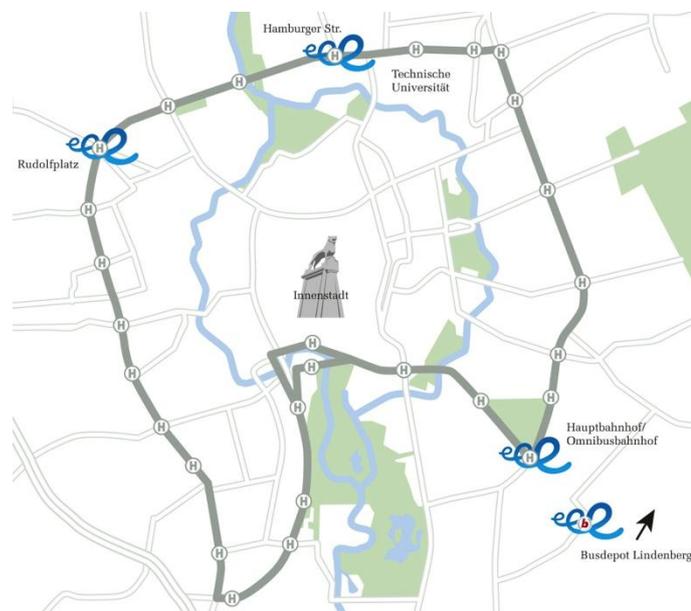


Abbildung 10: Übersicht der induktiven Ladestationen sowie der Streckenführung des Projektes emil [1]

Figure 10: Overview of inductive charging stations and the route of the project emil

ist eine außerordentliche Wahrnehmung in der Braunschweiger Öffentlichkeit gewährleistet (siehe Abbildung 10). Das Lastverhalten der Ladestationen an den Zwischenhalten ist durch kurzzeitige, aber sehr hohe Ströme, mit einer Dauer von bis zu 60 Sekunden bestimmt. Diese Leistungsspitzen können im Niederspannungsnetz zu unzulässigen Spannungsänderungen führen, die durch aktive Spannungsstützung wirksam reduziert werden können. Durch Blindleistungsbereitstellung kann die Spannungsänderung als Folge des Ladevorgangs deutlich verringert werden. Die Lastflussberechnung für ein beispielhaftes Niederspannungsnetz ergibt eine Halbierung des Spannungsfalls bei ohmsch-kapazitivem Verhalten der Ladestation (Active Front End) im Vergleich zu einem rein ohmschen Verhalten (siehe Abbildung 11).

Durch die aktive Spannungshaltung kann so teilweise auf kostspieligen Netzausbau verzichtet werden. Zusätzlich können durch die Verwendung eines aktiven Gleichrichters Oberschwingungen reduziert und eine Spannungsregelung auf der DC-Seite vorgenommen werden. Die hier vorgestellten Simulationsergebnisse und Lösungsansätze sollen im nächsten Schritt in verkleinertem Maßstab im Netzintegrationslabor des elenia überprüft werden.

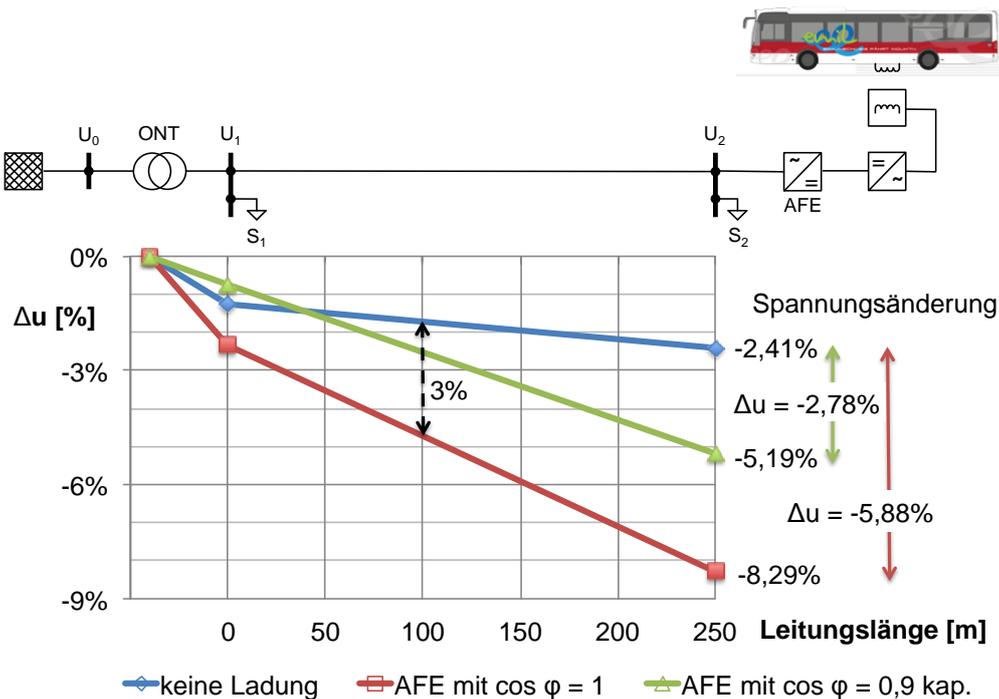


Abbildung 11: Spannungsfall längs der Leitung bei Ladung mit und ohne Blindleistungsbereitstellung

Figure 11: Voltage drop along the line when charging with and without reactive power supply

[1] Braunschweiger Verkehrs-AG: Innovation für die Zukunft, Induktive Ladetechnik im Braunschweiger Linienverkehr, Braunschweig, 2012  
[http://www.braunschweiger-verkehrs-ag.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/Flyer/PDF\\_emil\\_Flyer\\_v.pdf](http://www.braunschweiger-verkehrs-ag.de/fileadmin/user_upload/downloads/Flyer/PDF_emil_Flyer_v.pdf)

### **Active voltage control while charging electric vehicles at high power**

*M.Eng. Frank Soyck*

Battery-powered electric buses in scheduled public transportation require a way to recharge quickly during operation. The inductive charging of electric buses with a power of 200 kW in regular service is investigated as part of the joint research project “emil”. Short-term power-peaks can lead to unacceptable voltage changes in low voltage networks, which could be effectively reduced by active voltage control. This paper first provides an overview of the grid connection of the charging stations in the project “emil” and the associated challenges. The performed load flow calculations show that the undesired voltage changes can be significantly reduced by supply of reactive power. Expensive network expansion could be partly avoided by active voltage control.

### **Systemstabilität und Versorgungsqualität mit einer hohen Anzahl von dezentralen Erzeugern und Speichern**

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

Der zunehmende Ausbau der erneuerbaren Energien hat einen großen Einfluss auf die Energiemärkte und die Betriebsführung der Stromnetze. So werden zum Beispiel über den Merit-Order-Effekt die Preise am Spotmarkt zu Zeiten einer hohen EE-Einspeisung gesenkt. Das führt zum Verlust von Deckungsbeiträgen auf Erzeugerseite. Gleichzeitig steigt die Volatilität der Preise, so dass zunehmend negative Preise erwartet werden. Der Day-ahead-Spotmarkt an der EPEX hat durch sein hohes gehandeltes Volumen und der Transparenz des Handels einen großen Einfluss auf die Preise für jegliche Form von gehandelter elektrischer Energie. Somit ist es wichtig die weitere Entwicklung der Preise an dieser Börse zu modellieren.

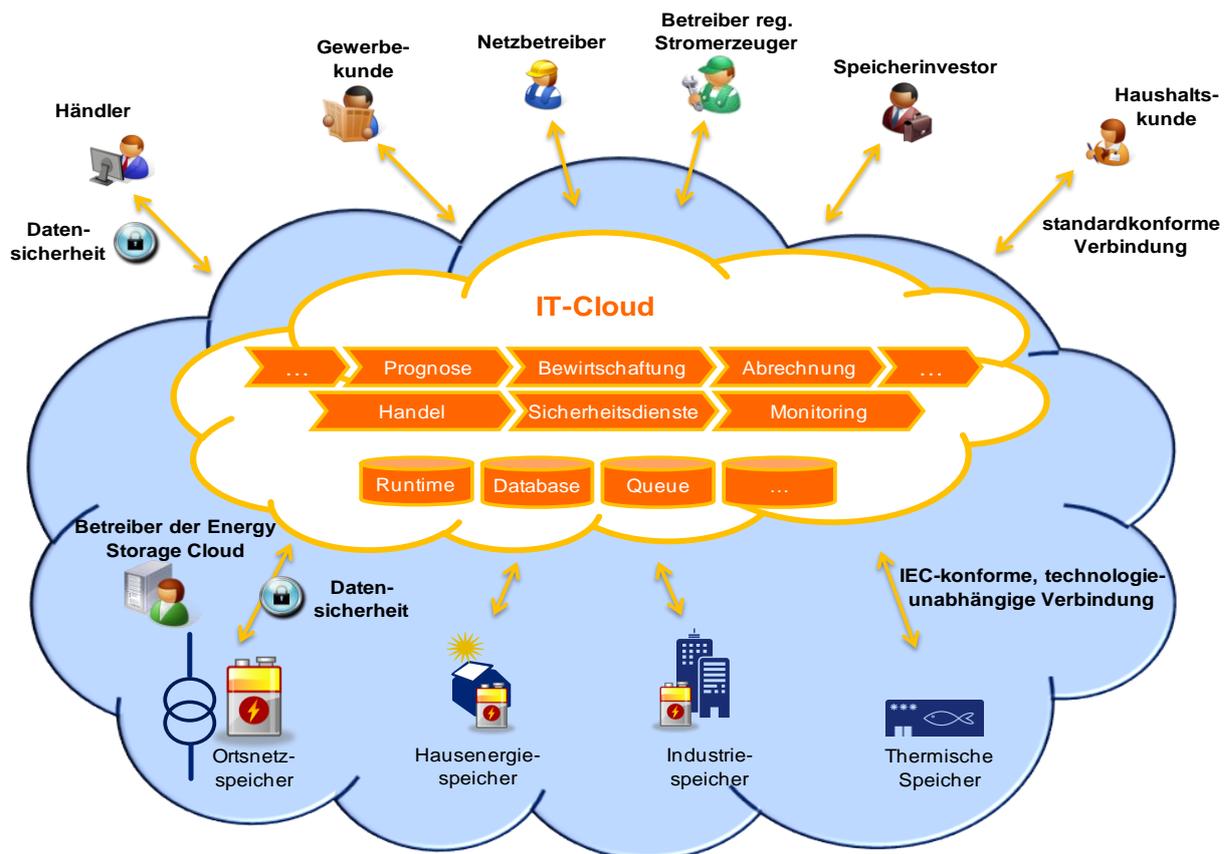
Durch die zeitweise hohe Einspeisung aus dezentralen Anlagen stehen zu diesen Zeiten auch weniger konventionelle Kraftwerke für die Erbringung von Systemdienstleistungen zur Verfügung. Zukünftig müssen somit immer mehr auch dezentrale Einheiten an der Erbringung von Systemdienstleistungen beteiligt werden. Für die Entwicklung möglicher Energiemärkte und Konzepte für die Betriebsführung wird im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Marktmodell entwickelt. Mit Hilfe des Marktmodells wird weitergehend untersucht, inwiefern zu bestimmten Marktsituationen die Systemsicherheit gefährdet wird und wie dezentrale Anlagen das elektrische Versorgungssystem unterstützen können. Ein Fokus der Untersuchungen liegt auf der Integration von elektrischen Energiespeichern. Die Speicher werden über eine Cloud vernetzt und stehen mehreren Nachfragern zur Verfügung (Abbildung 12).

## System Stability and quality of supply with a high penetration of decentralized generators and BESS

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

The increasing penetration with decentralized generators has a significant impact on the energy market and the operation control. During time periods with a high injection of renewable energies less conventional power plants are running and can contribute to ancillary services. Hence, more and more decentralized generators have to be considered for supporting the system stability.

Furthermore, at these times the prices at the spot market decrease tremendously. The profitability of all power plants is affected adversely. The ongoing investigation shall reveal concepts and recommendations for maintaining the system stability at all times. One core area of the project is the integration of BESS. These batteries are interconnected by means of a Cloud (Figure 12).



Source: Green2Store-Projekt

Abbildung 12: Vernetzung mehrerer Speicher über eine Cloud

Figure 12: Interconnected BESS by means of a Cloud

## 3.2 Arbeitsgruppe Energietechnologien - Working Group Energy Technologies

### 3.2.1 Gleichstromsysteme

#### Messverfahren zur präzisen Verlustbestimmung an Hochleistungs-IGBT-Modulen und zur Charakterisierung des Schaltverhaltens

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Die Anforderungen in den Bereichen 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 (siehe auch Dissertation E. Mohns; S. 77). Eine neu errichtete HGÜ-Prüfanlage und bestehende Prüfeinrichtungen am elenia werden zur Untersuchung des Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern genutzt (siehe Abbildung 13).

Im Rahmen des EU geförderten Forschungsprojekts *EMRP ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* (siehe Besondere Ereignisse) wurden am elenia das Schalt- und Verlustverhalten von Hochleistungs-IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) untersucht. IGBT-Module sind in Stromrichtern und somit auch bei einer HGÜ ein bedeutendes Verlustelement und stellen durch ihre schnellen Schaltvorgänge besondere Anforderungen an eine präzise Messtechnik. Beispielsweise kann ein Zeitversatz in der Messung von Kollektorstrom und Kollektor-Emitter-Spannung (wie in Abbildung 14) einen signifikanten Fehler bei der Verlustbestimmung verursachen. Methoden zur Visualisierung und Kompensation derartiger Fehlerquellen wurden erarbeitet und veröffentlicht. Ende August 2013 wurde das Projekt ENG07 erfolgreich abgeschlossen. Zu Projektende konnte zusammen mit der PTB die erste Stufe eines Referenzmesssystems präsentiert werden, das für die Optimierung eines Wechselrichterbetriebs und das Vermeiden von IGBT-Verlusten eingesetzt werden kann.

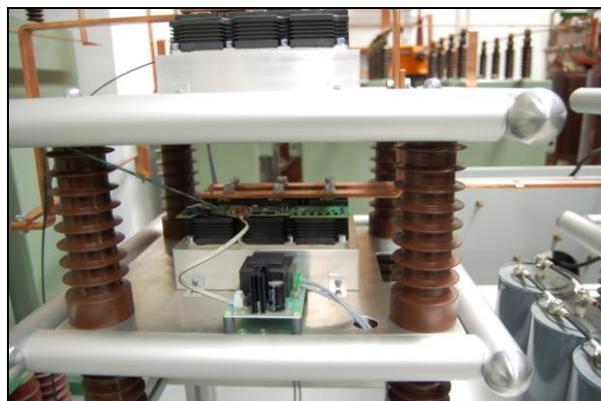


Abbildung 13: IGBT-Modul in der elenia-Prüfanlage

Figure 13: IGBT module at the elenia test field

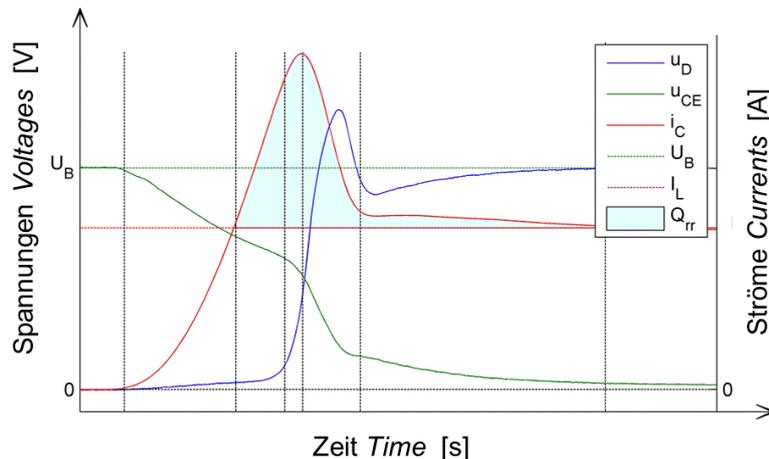


Abbildung 14: Gemessener IGBT-Einschaltvorgang von wenigen 100 ns  
 Figure 14: Measured IGBT module switch-on process of a few 100 ns

### Measurement Techniques for Precise Loss Measurement on High Power IGBT Modules and Switching Behaviour Characterisation

*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 on self-commutating converter (see also Dissertations on page 77: E. Mohns). In the focus of research at elenia are high power IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors; see Figure 13) modules that make high demands on the measurement system due to the IGBT fast switching capability. For switching process (like Figure 14), a time delay between electrical measured current and voltage signals can lead to a significant miscalculated power loss value. A digital transient recorder system with measuring heads connected via optical fibres is used to achieve galvanic isolation in the high volt DC test field. Solutions for time delay compensation at measurement system components were developed and published. In the end of August 2013 the research project *EMRP ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* funded by EU was finished successfully (see special events). Together with PTB a first stage of effective reference measurement system is presented to achieve optimised IGBT converter operation and the prediction of IGBT loss.

### Energieeffizienter Campus und Untersuchung von DC Microgrids

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

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 Stadtquartie-

ren 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.

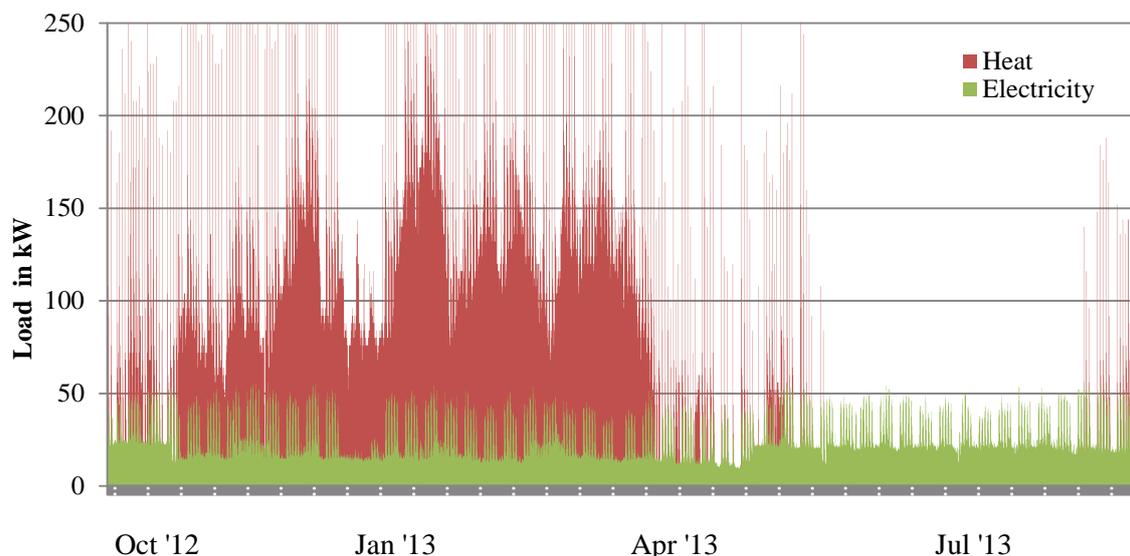


Abbildung 15: Lastgang Mühlenporthaus (Gebäude des elenia)

Figure 15: Load curve Mühlenporthaus (elenia building)

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. Darüber hinaus wurde als Forschungsfeld die Versorgung von Gebäuden mit Gleichstrom (DC Microgrids) identifiziert, um die Energieeffizienz zu verbessern.

Eine erste Studie ergab, dass auf den Dächern der Gebäude des Campus PV-Module mit einer Gesamtleistung von über 3 MW<sub>p</sub> installiert werden können. Sie könnten den Stromverbrauch der TU zu rund 10 % abdecken. Eine weitere Studie ergab, dass die Universität durch die gel-

tenden Fernwärmeverträge zwar in ihren Möglichkeiten, eigene Wärmeerzeugungsanlagen zu installieren, stark eingeschränkt ist, aber durch mit Biomethan betriebene Blockheizkraftwerke die CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 10 % gesenkt würden. Langfristig ist es möglich, dass mehrere BHKWs auf dem Campus installiert werden und neben der Universität auch das Stadtgebiet mitversorgen. Dazu muss die Einspeisung von Wärme in das Fernwärmenetz untersucht werden.

Im Bereich der DC Microgrids ergab eine Untersuchung des elenia am Rechenzentrum der Universität, dass eine Umstellung des Serverraumes auf eine Gleichstromversorgung Stromeinsparungen von 17 % zur Folge haben kann. Die Umrüstung der über 200 Computerarbeitsplätze in dem Gebäude kann den Verbrauch um etwa 25 % reduzieren. Als nächstes soll nun am elenia ein Büroraum mit drei Arbeitsplätzen umgerüstet werden. Ein zentraler Gleichrichter liefert den weiteren Komponenten dabei eine Spannung von 48 V<sub>DC</sub>.

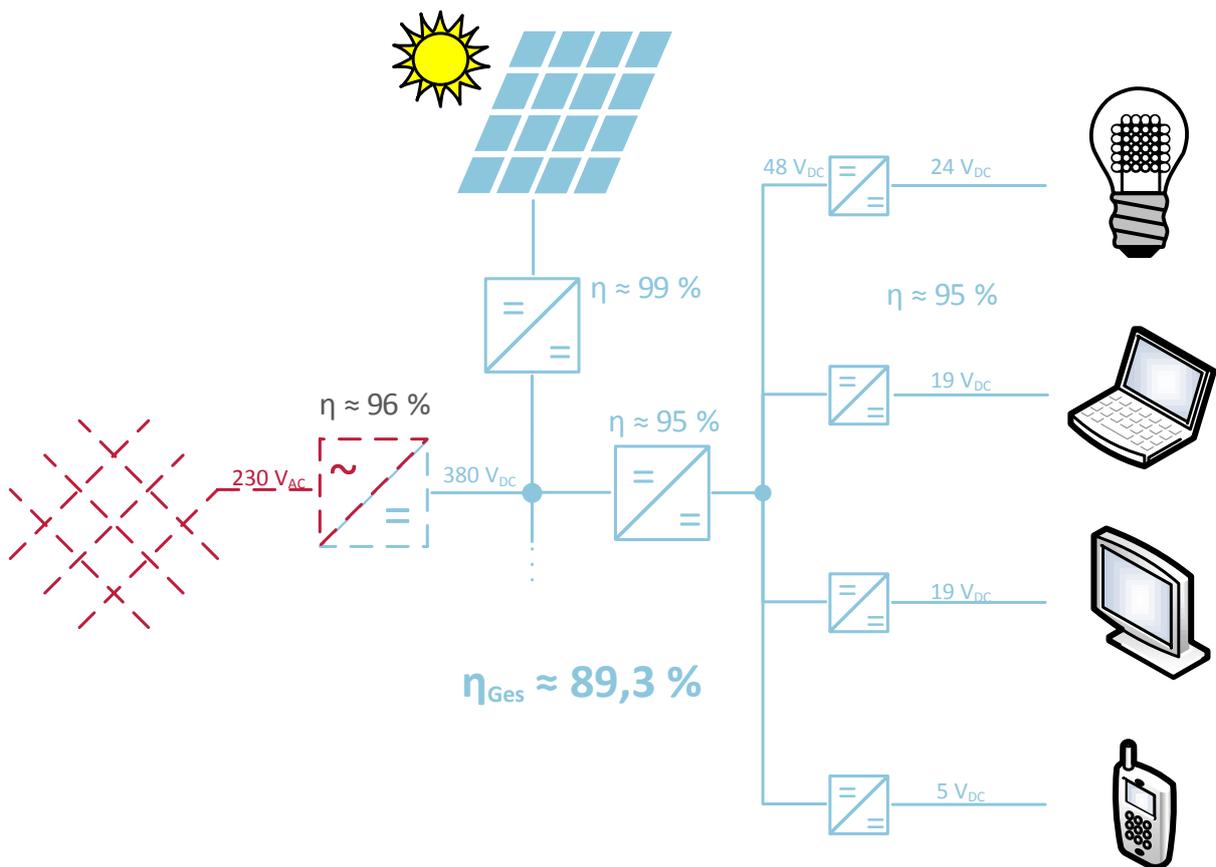


Abbildung 16: Wirkungsgrad eines „DC Büros“

Figure 16: Efficiency of a „DC office“

## **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 (photovoltaic, cogeneration units) as well as energy storage and electric vehicles. Furthermore, the direct current based electricity supply of buildings (DC microgrids) was identified as field for research. A first study showed that the campus buildings’ roofs provide potential for an installed photovoltaic capacity of more than 3 MW<sub>p</sub>. It could deliver 10 % of the university’s electricity demand. Another study recommends the installation of cogeneration units even though the university is very limited in its options to install thermal generation units due to the valid district heating contract. The units would need to use biomethan as fuel and would reduce the university’s carbon footprint by 10 %. It is imaginable that cogeneration units on campus also deliver heat into the city’s heat grid in the long-term.

Concerning DC microgrids an investigation of the university’s data center shows that a conversion of the server room towards DC supply can result in energy savings of 17 %. A modification of the 200 computer workplaces in the building could reduce power consumption by 25 %. As a next step an office at elenia with three work stations will be modified. A central rectifier therefore provides a voltage of 48 V<sub>DC</sub>.

### **3.2.2 Netzautomatisierung für die Elektromobilität**

#### **Entwicklung von Ladestrategien für Elektrofahrzeuge zur gezielten Integration in die bestehenden Verteilnetze**

*Jan Mummel, M.Sc.*

Die gezielte Einbindung einer großen Anzahl von Elektrofahrzeugen in das bestehende Energieversorgungsnetz benötigt Konzepte zur Vermeidung möglicher Netzzrückwirkungen sowie

zur gezielten Nutzung erneuerbarer Energien. Für eine flächendeckende Elektrifizierung, speziell bei größeren Fahrzeugflotten und deren Betreibern, werden daher innovative technische und wirtschaftliche Konzepte benötigt.

Das elenia betrachtet, in Zusammenarbeit mit verschiedenen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Partnern, im gemeinsamen Forschungsprojekt Fleets Go Green das Zusammenspiel zwischen dem täglichen Energiebedarf einer Fahrzeugflotte mit der verfügbaren Netz- und Erzeugungsleistung. Zwei wichtige Ziele liegen zum einen in der Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien am Ladestrom und zum anderen in der damit verbundenen gezielten Integration weiterer erneuerbarer Erzeugungsanlagen. Ein weiteres Ziel dieses Projektes bildet die Erstellung diversifizierter Ladepläne unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Nutzer ab, um für alle Beteiligten ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Die Kompensation von Unsicherheiten, wie Fahrzeug-, Netz-, und Erzeugungsinformationen sowie die Einbindung der Nutzeranforderungen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Abbildung 17 stellt den Prozess zur Ermittlung der Randbedingungen bis hin zur Verwirklichung der geplanten Ziele dar.



Abbildung 17: Entwicklung individueller Ladefahrpläne unter Berücksichtigung der Restriktionen von Nutzer, Fahrzeug, Netz und Erzeugung.

Figure 17: Development of individual charging timetables taking into account the restrictions of vehicle, grid and generation.

## **Development of charging strategies for electric vehicles to achieve a targeted integration into the existing distribution grid**

*Jan Mummel, M.Sc.*

The directed integration of a large number of electric vehicles into the existing power grid requires new concepts for the prevention of possible network disturbance and the usage of renewable energy. To achieve a comprehensive fleet electrification new technical and economic policies have to be created. Especially for larger fleets and their operators innovative concepts are required.

In the joint research project Fleets Go Green of elenia and various scientific and economic collaboration partners we investigate the interplay of the daily energy requirements of a vehicle fleet and the available network and electricity generation capacity. Increasing the share of renewable energy in the charging current and the associated directed integration of additional renewable energy form two objectives of the project. Another aim is to offer the user more diversified charging plans to achieve a satisfactory outcome for all parties. Here also the compensation of uncertainties of vehicle, grid, and production information as well as the integration of user requirements play an important role. Figure 1 illustrates the process from the determination of the boundary conditions to the accomplishment of set objectives.

## **Strecken- und Infrastrukturdaten zur Optimierung von Plug-In-Hybrid-Betriebsstrategien**

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

Plug-In-Hybridfahrzeuge stellen eine Brückentechnologie zwischen auf fossile Brennstoffe gestütztem und rein elektrischem Personen- und Güterverkehr dar, da sie beide Fahrbetriebszustände nahezu ohne Einschränkungen darstellen können. Die erfolgreiche wirtschaftliche und technische Einbindung dieses Fahrzeugkonzeptes in den Straßenverkehr ist jedoch von einer großen Anzahl an Randbedingungen abhängig. Neben gesetzlichen Vorgaben, der Optimierung von Einzelkomponenten sowie der Bereitstellung von Ladeinfrastruktur sind dies in besonderem Maße fahrzeugseitig verfügbare Werkzeuge zur intelligenten Ladung und Entladung des Fahrzeug-Energiespeichers – sowohl intern über die verfügbare Verbrennungskraftmaschine als auch extern am Energieverteilnetz.

In Zusammenarbeit mit der Antriebsentwicklung der Volkswagen AG in Wolfsburg werden im Zuge einer Forschungsarbeit Strategien zur Optimalen Nutzung des Fahrzeug-Energiespeichers von Plug-In-Hybridfahrzeugen untersucht. Besonderer Fokus liegt auf der

Berücksichtigung von Strecken- und Infrastrukturdaten der voraussichtlichen Route sowie auf der Behandlung unvorhergesehener Störungen auf die Optimierung, wie beispielsweise Änderungen im Verkehrsgeschehen oder Fahrereingriffe. Ziel ist dabei das Aufzeigen von Optimierungspotentialen bei der Nutzung von Vorwissen über die vorausliegende Strecke und die quantitative Bewertung von Störungen zur Entwicklung robuster vorausschauender Betriebsstrategien.

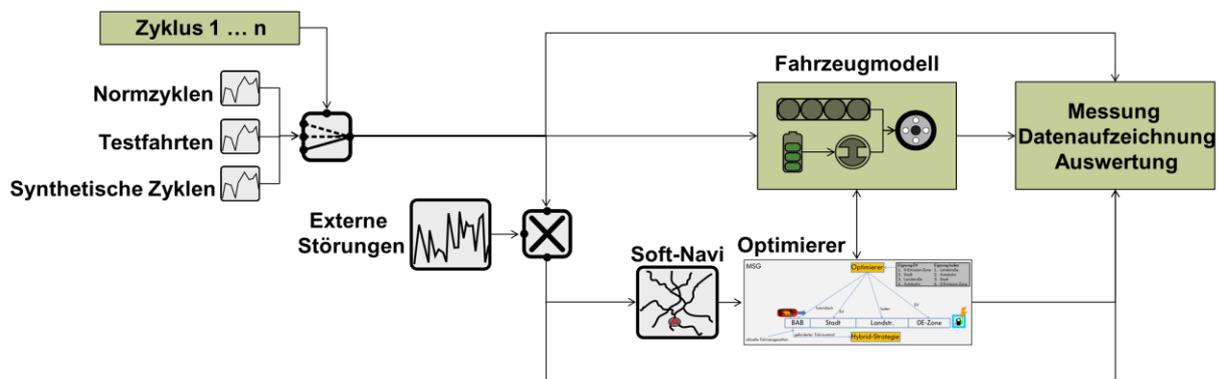


Abbildung 18: Simulationsaufbau

Figure 18: Simulation setup

Abbildung 1 veranschaulicht die Herangehensweise bei der simulativen Untersuchung unterschiedlicher Optimierungsstrategien auf Basis von Streckendaten variierender Güte und Umfang. Dazu wird ein Antriebsstrangmodell mit festgelegten Streckendaten stimuliert. Der Antriebsstrang wird von einem in seiner Komplexität variablen Optimierer gesteuert, welcher wiederum mit den ursprünglich selben, jedoch verfälschten, Streckendaten, wie das Antriebsstrangmodell stimuliert wird. Die durch Störungen ausgelöste Abweichung zwischen den Optimierungsergebnissen lässt schließlich einen Rückschluss auf deren quantitativen Einfluss auf eine bestimmte Optimierungsstrategie zu.

Erste aus diesen Untersuchungen abgeleitete Ansätze wurden bereits umgesetzt und im Fahrzeug erprobt. Eine strukturierte Validierung der Simulationsergebnisse über Fahrversuche sowie die Berücksichtigung von Ladestopps in der Optimierung stehen jedoch noch aus.

### Using route and infrastructural data for optimization of plug-in hybrid operating strategies

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

Plug-In hybrid vehicles act as a bridge technology between conventional and electric propulsion. Successful integration of the concept into the traffic scene, though, greatly depends on its operating strategy as well as efficient use of means for external charging of the vehicle's battery. In cooperation with the Volkswagen AG, strategies for optimal use of the electric

energy stored in a plug-in hybrid battery are being researched. Using route and infrastructural data as well as considering possible interferences (traffic, driver ...) with the optimization process is the main focus of the work. The goal of the research conducted is to identify potential for optimization using prior knowledge of the route and to quantitatively assess the influence of interference on the operation strategy optimization to help develop robust predictive operating strategies.

So far research was mainly based on simulation and first generated results lead to developing robust and resource efficient approaches that were actually realized in a test vehicle context. Validating simulation results through extensive test drives as well as including external charging into the operating strategy concept will conclude this research in the future.

### **3.2.3 Batteriesysteme**

#### **LithoRec II – Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen**

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Die zunehmend in Elektrofahrzeugen (EV) serienmäßig auf dem Markt kommenden Lithium-Ionen-Batterien weisen eine Lebensdauer von ca. acht bis zehn Jahren auf. Bis dahin muss das Kriterium einer mindestens verfügbaren Restkapazität von ca. 80 % der Nennkapazität garantiert werden. Batteriehersteller und Inverkehrbringer (z.B. Automobilhersteller) sind per Gesetz in der Pflicht die Altbatterien nach ihrer primären Nutzung im Automobil vom Kunden zurückzunehmen<sup>3</sup>. Da erst in einigen Jahren mit einer hohen Rücklaufquote von EV-Batterien zu rechnen ist, bestehen aktuell nur wenige Feldversuche für Second-Life-Konzepte. Eine Wiederverwendung im Automobil, eine Weiterverwendung in einer anderen Anwendung oder die Verwertung und Materialrückgewinnung zur Herstellung neuer Batterien sind mögliche Strategien die es noch zu erproben und unter Praxistauglichkeit zu stellen gilt.

Letzteres, also das Recycling durch Verwertung „alter“ zur Herstellung neuer Batteriezellen ist Ziel des Forschungsprojektes LithoRecII, an dem das elenia beteiligt ist. Durch ein hydro-metallurgisches Verfahren sollen Sekundärbatterien in Batteriequalität hergestellt werden um die Rohstoffunabhängigkeit Deutschlands unter anderem von Lithium und Kobalt sicherzustellen und den Materialkreislauf zu schließen. Das dreijährige Forschungsprojekt, welches

---

<sup>3</sup> Siehe Batteriegesetz - BattG §5,9 (<http://www.gesetze-im-internet.de/battg/>)

von der Bundesregierung als Leuchtturmprojekt<sup>4</sup> eingestuft wurde läuft noch bis Juli 2015 und hat eine Recyclinganlage im Pilotmaßstab zum Ziel. Abbildung 19 zeigt die Prozessschritte in LithoRecII.

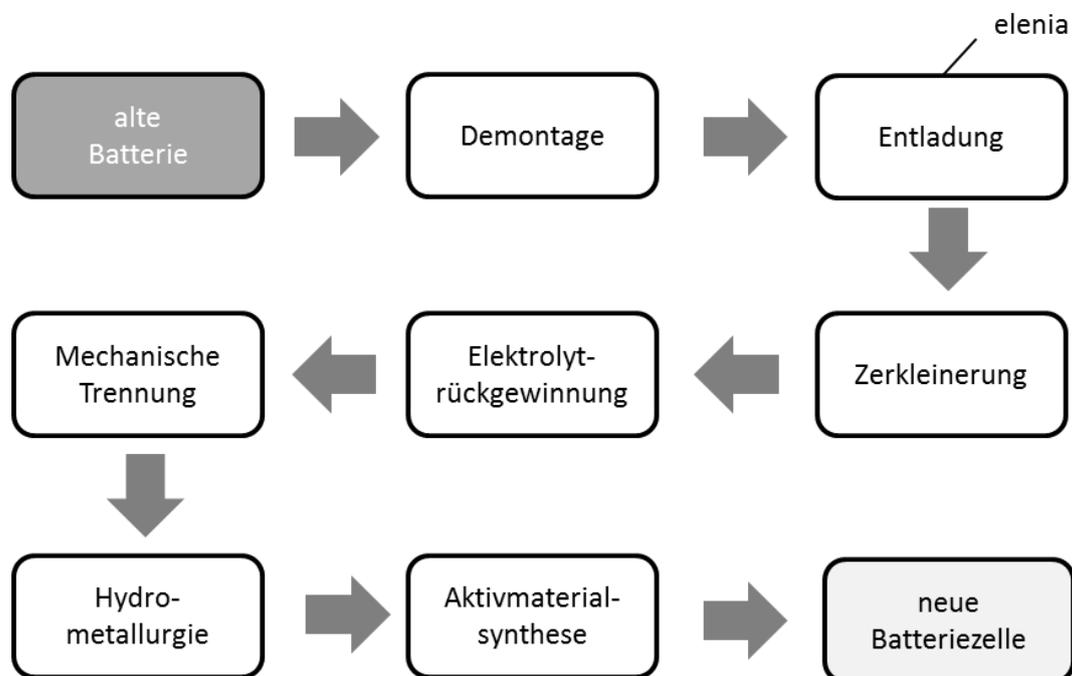


Abbildung 19: Prozessschritte in LithoRecII

Figure 19: Process steps in LithoRecII

Darin untersucht das elenia geeignete Entladestrategien für Batteriesysteme, -module und -zellen um die Folgeprozesse Zerkleinerung und Materialrückgewinnung sicher und optimal zu gestalten. Neben der Untersuchung alternativer Entlademechanismen, wie der Entladung über oder in Flüssigkeiten, wird auch die Netzurückspeisung der Batterierestenergie mittels Wechselrichter oder DC-Rückspeisefähigen-Lasten zur Energierückgewinnung erprobt. Weiterhin werden für die unterschiedlichen Zellchemien optimale Entladekennlinien erforscht, um eine hohe Lithium-Rückgewinnungsquote zu erzielen.

## LithoRec II – Recycling of lithium-ion batteries of electric cars

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

The Lithium-Ion batteries which are used in Electric Vehicles (EV) have a life span of about eight to ten years. The market for these batteries will increase in the near future. Therefore, the criterion of a minimum available residual capacity of 80% of the rated capacity must be

<sup>4</sup> Leuchtturmprojekt: „Gütesiegel“ für besonders wichtige Innovationen, die einen bedeutenden Beitrag zum technologischen Fortschritt oder der Kostensenkung in der Elektromobilität leisten

guaranteed. Battery manufacturers and distributors (e.g. car manufacturers) have to take back batteries from the costumers after their primary use in automobiles. In a few years it is to be expected that a high return rate of EV batteries will be exist, while a few field trials for second life concepts are proposed. The re-use in the automobile, re-use in another application, or the recycling and material recovery process for production of new batteries are potential strategies that need to be tested and validated practically.

The process of recycling by collecting "old" batteries for production of new battery cells is the main goal of the research project "*LithoRecII*" where *elenia* takes the task of batteries discharging studies. Figure 19 shows the process steps in *LithoRecII*. Through a hydro-metallurgical process recycled batteries are to be produced in the same quality. As the aim of Germany is to be independent of raw materials like lithium and cobalt and to close the material cycle, the *LithoRecII* research project will run until July 2015. Therefore the German government has classified this project to be one of the most important strategic projects. A recycling plant on a pilot scale will be established in order to achieve these targets.

Our task in *elenia* is investigating different discharge strategies, such as the discharge by resistors or liquids, which have be suitable for battery systems, modules and cells, in order to make the subsequent processes and the material recovery to be safe and optimal. In addition to the investigations of alternative discharging mechanisms, also the energy recovery using inverters or DC regenerative loads will be tested. Furthermore, proposing of optimal discharge mechanisms in order to achieve a high lithium recovery ratio for the different battery cells.

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

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

Eines der Kernprobleme der Elektrofahrzeuge bilden neben den hohen Anschaffungskosten der Fahrzeuge die stark begrenzten Reichweiten. Für die notwendige Vergrößerung der Reichweite birgt neben einer innovativen Leichtbauweise der Karosserie die Forschung nach neuen Batterietypen ein hohes Potential. Doch nicht nur neue Batterietypen gilt es zu erforschen. Wenn es möglich ist, die Temperatur, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit einer vorhandenen Batterie vorhersagen zu können, ist es auch möglich, einen gezielten Einfluss auf diese Größen zu nehmen.

Zum Einsatz kommen in den meisten Anwendungen die Lithium-Ionen-Batterien. Sie zeichnen sich durch eine sehr hohe Energiedichte (Wh/kg) aus. Im Institutseigenen Batterielabor,

welches sowohl mit eigenen, als auch mit Messeinrichtungen des BLB (Battery LabFactory Braunschweig) ausgestattet ist, werden Untersuchungen an Lithium-Ionen-Batterien durchgeführt. (Abbildung 20).

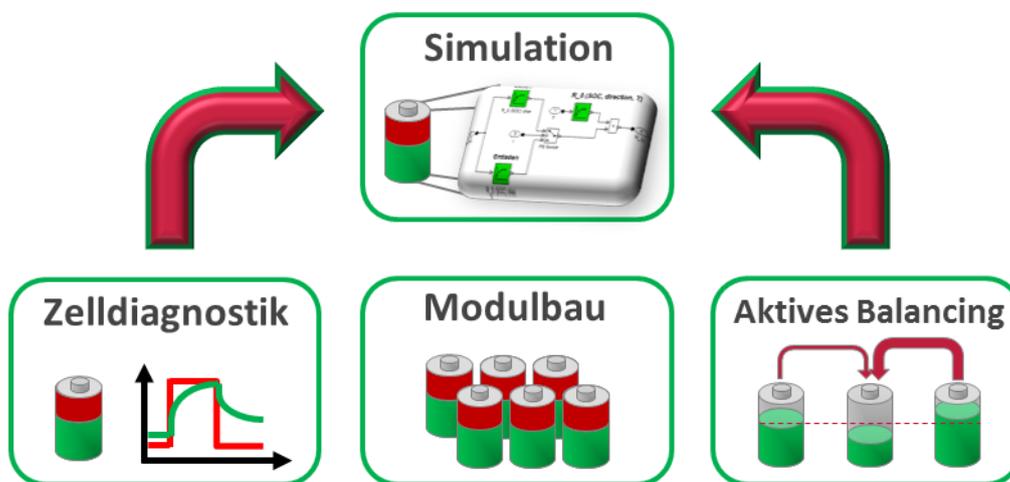


Abbildung 20: Batterieforschungsfelder am elenia

Figure 20: Battery research fields at the elenia

Die Bandbreite reicht von der Untersuchung an Gesamtbatteriesystemen, dem Aufbau von Batteriemodulen bis zur Charakterisierung von kommerziellen und selbstgefertigten Batteriezellen. Batteriemodule werden üblicherweise in der Größenordnung bis 60 V hergestellt, um eine Einhaltung der Berührungsspannung zu gewährleisten. Dies entspricht beim Einsatz von Lithium-Ionen-Batteriezellen mit einer nominellen Spannung zwischen 3,2 V – 3,8 V eine Zellenanzahl von 13 - 15 Zellen/Modul. Um einen optimalen Betrieb eines Moduls zu gewährleisten, wird am Institut der Einsatz unterschiedlicher Verfahren untersucht. Aus aktueller Sicht ist der Einsatz eines passiven Batteriebalancing-Verfahrens, welches die Zellspannungen innerhalb eines Moduls abgleicht in dem energiereichere Zellen auf das Niveau der schwächsten Zelle entladen werden, die kostengünstigste Variante. Wirkungsgradreicher ist ein aktives Balancing-Verfahren, bei dem die Energie nicht durch Widerstände in Wärme gewandelt, sondern in die schwächeren Zellen überführt wird.

Mit der Charakterisierung kommerzieller Batteriezellen wird der Streugrad von Zellen aus automatisierter Produktionstechnik untersucht. Dies dient unter anderem der Klassifizierung der selbstgefertigten Li-Ionen-Batteriezellen, welche im BLB hergestellt werden. Durch die handgefertigten Zellen ist es uns möglich die Einflüsse unterschiedlicher Produktionsparameter auf die elektrische Performance einer Zelle zu ermitteln und zu bewerten. Bei der Messung der elektrischen Performance eines Batteriesystems, -modul, -zelle wird eine Innenwiderstandskennlinie in Abhängigkeit der Stromstärke, eine Ruhespannungskennlinie in Abhängigkeit des Ladezustandes, sowie die Kapazität bestimmt. Die Kapazität und die beiden Kennli-

nien einer Batterie sind entscheidend zur Feststellung der grundsätzlichen Batterieeigenschaften. Für Batteriemodule und -zellen wird zur Beurteilung des Verhaltens im Betrieb zusätzlich ein Belastungstest, ähnlich dem NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus), durchgeführt.

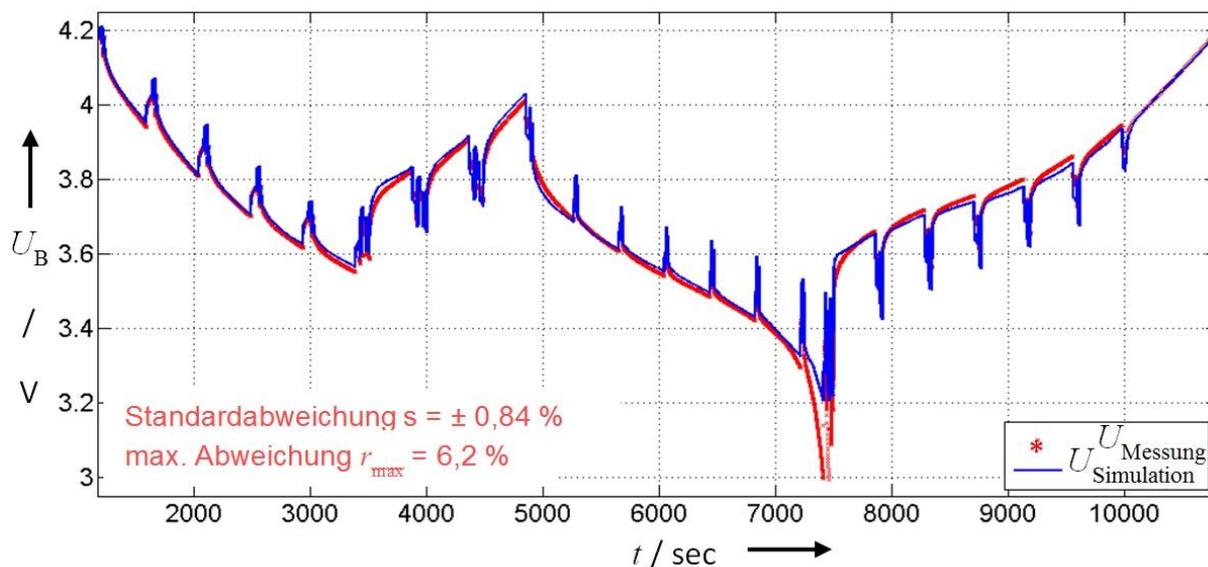


Abbildung 21: Messung vs. Simulation, selbstgefertigte Laborzelle 50 mAh, Validierungsprofil

Figure 21: Measurement vs. Simulation, self-made cell 50 mAh, validation profile

Auf Zellebene werden weitere Messverfahren zur Charakterisierung eingesetzt. Hierzu gehört neben der Current-Interrupt-Analyse, die Elektrochemische Impedanzspektroskopie. Die analytisch gewonnenen Erkenntnisse werden in Simulationsmodelle überführt, welche die charakteristischen Eigenschaften einer Li-Ion-Batterie nachbilden.

### Physical modelling of Li-ion battery cells based on impedance-spectroscopy tests

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

One of the problems of electric cars are the very limited ranges in addition to the high cost of the vehicles. The research for new types of batteries carries a high potential. If it is possible to adjust the temperature, life and efficiency of predicting an existing battery, it is also possible to take a specific influence on these parameters. In most applications, lithium-ion batteries are used. They are characterized by a very high energy density (Wh / kg). In the Institute's own battery laboratory, which is equipped with both their own, and with measuring devices of the BLB (Battery LABfactory Brunswick), lithium-ion batteries are investigated. (Figure 20)

The spectrum ranges from the investigation of battery systems, the construction of battery modules to the characterization of commercial and self-made battery cells. Battery Modules

are usually made in order to 60 V. This corresponds to the case of lithium-ion battery cells with a nominal voltage between 3.2 V - 3.8 V, a cell count 13-15 cells / module. To ensure optimal operation of a module, different methods are studied at the Institute. From the current perspective, the use of a passive battery balancing procedure is the cost-effective option to compare battery cells. Better balancing an active process in which the energy is not converted into heat by means of resistors, but is transferred to the emptier cells. Due to the self-made cells, it is possible for us to determine the effects of different production parameters on the electrical performance of a cell and to evaluate.

For battery cells show specific methods are used for characterization. This includes current interrupt analysis and electrochemical impedance spectroscopy. The findings obtained analytically be transformed into simulation models that simulate the characteristics of a Li-Ion battery.

### **3.2.4 Nieder- und Hochspannungsschaltgeräte**

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

*Dipl.-Ing. Hendrik Köpf*

Technische Entwicklungen der letzten Zeit führten, angetrieben durch Politik und Wirtschaft, zu einem massiven Bedarf an Schaltgeräten für Gleichspannungsanwendungen im Bereich der Niederspannung bis 1500 V. Einsatzgebiete sind leistungselektronikbasierte DC-Netze in Rechenzentren, DC-Microgrids, Photovoltaikanlagen oder mobile Bordnetze von Elektrofahrzeugen. Im Hinblick auf Reichweitenmaximierung und eine optimale Raumnutzung sind die Anforderungen an Schaltgeräte in Elektrofahrzeugen hoch. Geringe Bauteilvolumina, geringes Gewicht, geringe elektrische Verluste im Haltebetrieb und weite Antriebsspannungsbereiche werden seitens der Fahrzeughersteller gefordert.

Innerhalb solcher Bordnetze kommen Systemspannungen von mehreren 100 V und Nennströme im Bereich einiger 100 A zum Einsatz. Zur Energieversorgung werden hochleistungsfähige Lithium-Ionen-Akkumulatoren eingesetzt. Diese sind dazu in der Lage Kurzschlussströme bis 9 kA zu erzeugen. Höhere bereitzustellende Leistungen, beispielsweise für LKWs, werden in Zukunft zu Batteriesystemen mit kleineren Innenwiderständen und höheren Spannungen führen. Aus diesem Grund wurden kommerziell erwerbliche Schaltgeräte für den Einsatz in einer Bordnetzkonfiguration untersucht. Die betrachteten Schaltgeräte unterscheiden sich in den Antriebskonfigurationen, der verwendeten Kontaktgeometrien sowie Kontaktma-

Materialien, der Lichtbogenlöschmechanismen und der Ausführung des Gehäuses. Die Schaltgeräte sind entweder hermetisch dicht gekapselt oder verfügen über Ausblasöffnungen. Vor Beginn der Untersuchungen wurden die technischen Randbedingungen für ein Schalt- und Schutzkonzept aufgestellt. Zugrunde gelegt wurde hierfür eine Bordnetztopologie mit einer Systemspannung von 450 V und einem Nennstrom von 120 A.

Anschließend wurden die Datenblattangaben der Hersteller verifiziert, bezüglich Durchgangswiderständen und Antriebseigenschaften. Das Ausschaltvermögen der Schaltgeräte wurde für prospektive Ströme zwischen 5 A bis 1500 A geprüft. Die geschilderten Untersuchungen beinhalteten bidirektionale Leistungsflüsse und Zeitkonstanten  $\tau$  von 0 ms und 1 ms. Den Signalverlauf einer solchen Prüfung im Fall eines mittleren prospektiven Stromes  $I_P$  von 380 A, einer mittleren Prüfspannung  $U_P$  von 450 V und einer Zeitkonstante  $\tau$  von 1 ms zeigt Abbildung 22.

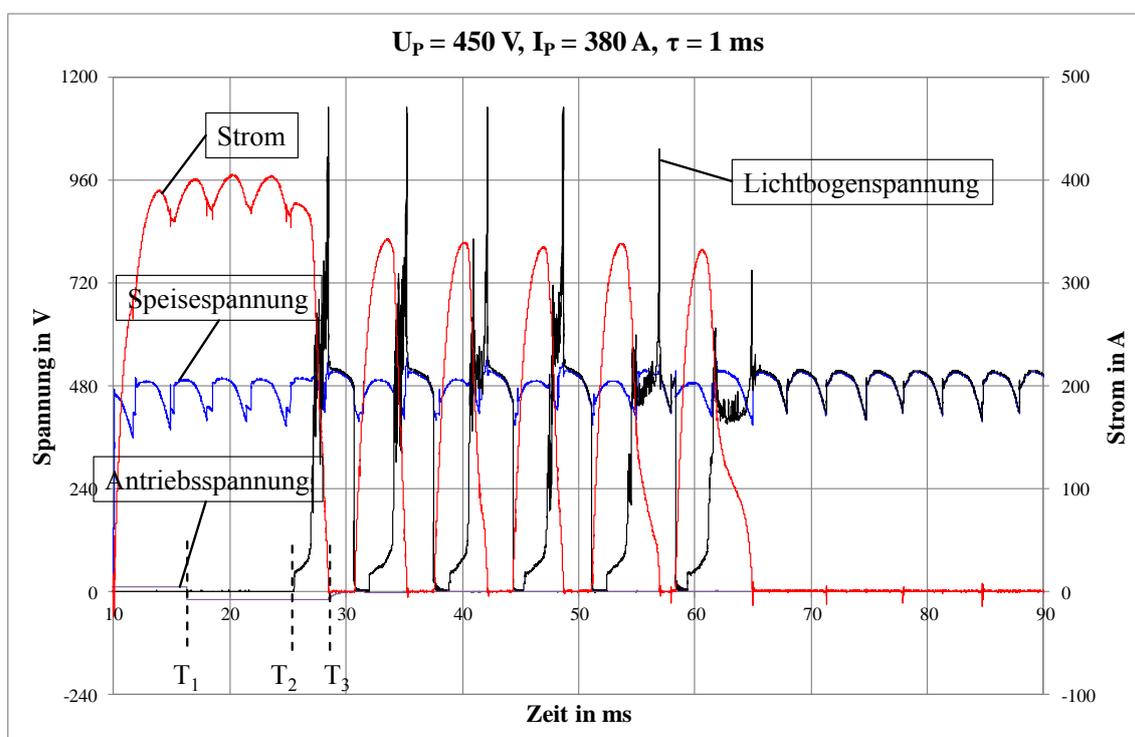


Abbildung 22: Ausschaltvorgang eines Schaltgerätes mit multiplen Wiederzündungen

Figure 22: Switch-off processes of a switchgear with multiple re-ignitions

In Schaltlichtbögen auftretende Temperaturen, Gasdrücke und Materialwanderungen stellen sehr hohe Anforderungen an die elektrische Isolation innerhalb eingesetzter Schaltkammeranordnungen. Entwicklungen im Bereich der Niederspannungsschaltgeräte führten in den letzten Jahren zu einer erheblichen Reduzierung der räumlichen Abmaße und des Gewichtes verwendeter Schaltgeräte. Die Materialanforderungen derart kompakter Bauformen werden derzeit durch den Einsatz unterschiedlichster Schaltkammermaterialien erfüllt. Es ist notwendig die

Tauglichkeit verwendeter Werkstoffe und alternativer Werkstoffe im Hinblick auf zukünftige Anwendungen zu untersuchen und zu bewerten. Aufgrund der zunehmenden Nachfrage nach Schaltgeräten für den Einsatz in NS-Gleichstromsystemen, ohne natürlichen Stromnulldurchgang, werden die Materialanforderungen noch erheblich zunehmen.

Das CAD-Modell einer Anpassung eines am elenia entwickelten Prüfaufbaus ist in Abbildung 23 zu sehen. Die Position des Prüflings bleibt in Bezug auf den Messaufbau, bestehend aus den Laufschienen, den Abbrandelektroden, den Schaltkammerwänden, stets unverändert. Es ist hierbei möglich den Prüfling mit Hilfe einer Einspannung zu fixieren. Zusätzlich werden aufgrund von vier Führungsstangen sämtliche Probenwerkstoffe stets gleichmäßig mit erzeugten Schaltlichtbögen belastet. Die Schnellfilmkameraaufnahmen, welche in der Darstellung darunter zu erkennen sind, zeigen Ausschnitte einer Untersuchung. Im Anschluss an die Zündung des Lichtbogens wandert dieser in Richtung des Prüflings.

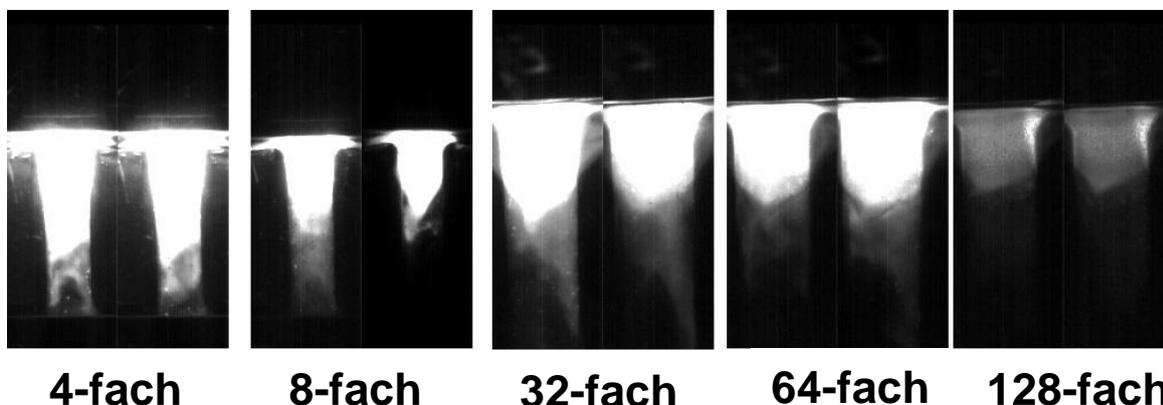
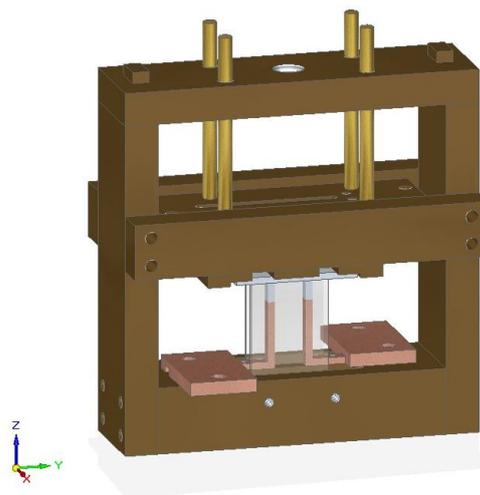


Abbildung 23: Aufbau zur Untersuchung des Abbrandverhaltens von Schaltkammerisolistoffmaterialien

Figure 23: Experimental arrangement for researches on the burn-off behavior of arcing chamber insulation materials

Dort brennt der Schaltlichtbogen bis zur Zwangsabschaltung der Prüfeinrichtung. Der Kontakt mit dem Isolierstoff ist in der Abbildung für unterschiedliche optische Filterkonfigurationen zu sehen.

Mit Hilfe ausgewerteter Schnellfilmkameraaufnahmen und aufgezeichneter elektrischer Größen konnten lokale Extrema der Signalverläufe unterschiedlichen Positionen des Lichtbogens im Prüfaufbau zugeordnet werden. Außerdem wurde das Abbrandvolumen jeden Prüflings mithilfe einer Gewichts- und Oberflächenanalyse bestimmt. Dies ermöglicht die Berechnung der am Isolierstoff umgesetzten Energien und des energiebezogenen Materialschwundes. Eine Kategorisierung der verwendeten Werkstoffe wird dadurch möglich.

### **Experimental research on 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*

The electrical requirements of switchgear and protective devices for low-voltage direct current grids are technically sophisticated. A particular case is the automotive system of an electric vehicle. There are special demands considering volume, weight and power losses of the switchgear in the on-state. To ensure personal protection, it is necessary to control the system parameters in every operating condition. Therefore exemplary commercial switchgear has been researched for the application in an electric car with a system voltage of 450 V. The record of a breaking process is shown in Figure 22.

Automotive direct current grids operate with currents of several hundred amperes. To reach these operating data powerful lithium-ion accumulators are applied as energy sources in these arrangements. In case of electrical failures the chemical power sources are able to generate currents of several kiloamperes. Considering the latest developments the system voltages will probably soon increase up to higher voltage levels.

To ensure personal protection it is necessary to control the system parameters in every operating condition. Applied switchgear and protective devices have to be able to break nominal currents and fault currents, establish galvanic separation and limit short circuit currents. The high power losses during such breaking processes need to be controlled. Considering the high demands on volume and weight, insulating materials for the application in arcing chambers of such low-voltage-switchgears have to be examined. Figure 23 shows a configuration, which is used for such experimental research.

The mechanical, thermal and electrical effects on the insulating materials are evaluated concerning the loss arc-energy, the burn-off volumes and the record of the electric signals. The

pictures in Figure 23 show arcs below investigated insulating materials. These photos were made with different optical filters.

## Simulation von Niederspannungslichtbögen

*Dipl.-Ing. Julia Rütter*

Nach nunmehr fast zwei Jahrzehnten hat sich die Simulation von Lichtbögen in der Forschung und Entwicklung von Niederspannungsschaltgeräten fest etabliert. Die Simulationen dienen zum einen dem besseren Verständnis der im Lichtbogen und der Schaltkammer ablaufenden Prozesse. Zum anderen reduziert der Einsatz von Simulationen die Anzahl von zeitaufwändigen Design- und Prototypenversuchszyklen und experimentellen Messreihen.

Zur Beschreibung des Schaltlichtbogens wird ein gekoppeltes Gleichungssystem, bestehend aus den Transportgleichungen für die Gasdynamik und die Energiebilanz und den elektromagnetischen Gleichungen, gelöst. Die Kopplung der Gleichungen erfolgt zum einen über die temperatur- und druckabhängigen Materialparameter wie Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit, Wärmekapazität, Viskosität und Dichte und zum anderen über Quellterme wie der Lorentzkraft und der ohmschen Heizleistung. Zur Lösung der Gleichungen wird das auf der Finiten Volumen Methode basierende, kommerzielle CFD-Programm ANSYS CFX verwendet.

Die Simulation von kompletten Schaltgeräten mit einer hohen Anzahl von Löschblechen führt trotz zunehmender Rechenleistung zu einer vergleichsweise hohen Simulationszeit. Dies liegt an der großen Anzahl von diskreten Gitterelementen, weshalb insbesondere beim Löschblechstapel ein großes Optimierungspotential der Rechenzeit liegt. Eine Idee zur Reduzierung der Rechenzeit liegt in der Vereinfachung des Löschblechstapels durch ein poröses Ersatzkontinuum. Abbildung 24 zeigt eine Modellschaltkammer bestehend aus zwei Laufschiene, dem Gasraum und vier parallelen Löschblechen bzw. dem porösen Ersatzgebiet.

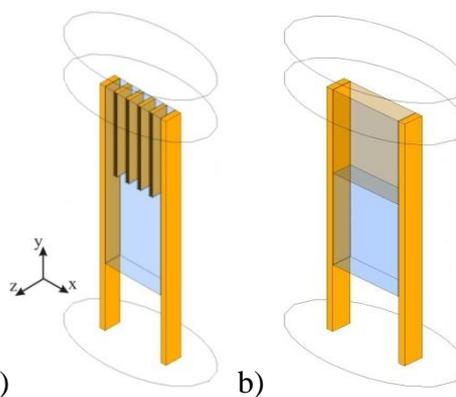


Abbildung 24: Geometrie mit a) vier Einzelblechen und b) porösem Ersatzgebiet  
 Figure 24: Geometry of a) four separate splitter plates and b) a porous continuum

In Abbildung 2 sind die Rechenzeiten von Simulationen mit einzelnen Löschblechen und der porösen Vereinfachung dargestellt. Werden die Simulationen mit Einzelblechen (Abbildung 25a) und porösem Ersatzgebiet (Abbildung 25b) mit fast identischen Gitternetzen durchgeführt, so reduziert sich die Rechenzeit bei der Vereinfachung lediglich durch das etwas bessere Konvergenzverhalten und der daraus resultierenden größeren Zeitschrittweite. Der entscheidende Vorteil bei der Verwendung von porösen Medien liegt in der Möglichkeit, ein größeres Gitternetz zu wählen. Während bei der Modellierung einzelner Löschbleche zwischen und unterhalb der Bleche mehrere Elemente liegen müssen, um die Strömung realistisch nachbilden zu können, wird die Strömung bei Verwendung poröser Medien ver gleichmäßig und es können deutlich weniger Elemente verwendet werden, ohne nennenswerte Einflüsse auf die Lichtbogenbewegung zu erhalten. Dies kann je nach Wahl des Rechengitters zu einer starken Reduzierung der Rechenzeit führen (Abbildung 25c).

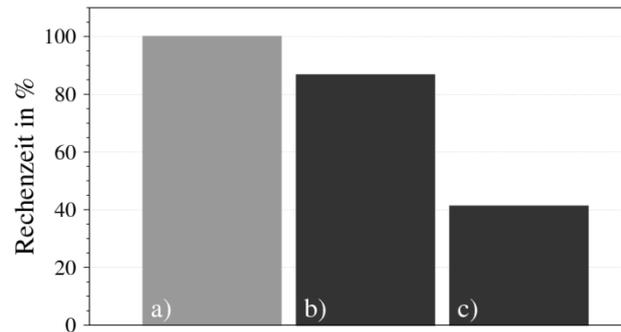


Abbildung 25: Rechenzeiten im Vergleich  
 Figure 25: Simulation times in comparison

### Simulation of low-voltage arcs

*Dipl.-Ing. Julia Rütter*

Simulations of switching arcs are firmly established in research and development of switching devices. Numerical simulations help to speed up the design process and to improve the understanding of switching processes as well. The electric arc is described by a coupled system of equations composed of transport equations for the gas dynamics and the electromagnetic equations. The coupling of the equations takes place by material parameters like thermal and electrical conductivity, viscosity, density, and heat capacity and source terms like the Lorentz force and ohmic heating. The equations are solved with the commercial CFD-program ANSYS CFX.

The simulation time of a whole switching device with a multiplicity of splitter plates is very high, despite increasing computational power. A possibility to reduce the simulation time is to simplify the stack of splitter plates to a porous continuum. The geometry of the stack of separate splitter plates and the porous continuum are shown in Figure 24.

In Figure 25 the simulation time of models with separate splitter plates (Figure 25a) and the porous continuum (Figure 25b,c) are compared. By using almost identical simulation grids, only a low reduction in simulation time is reached. This is caused by a little better conver-

gence behavior which results in higher simulation time steps. The key benefit is the possibility to use considerable coarser simulation grids without significant effects to the arc movement. This can result in a great reduction of simulation time in dependence of the simulation grid (Figure 25c).

### Untersuchungen zum Verhalten des Plasmas in engen Spalten bei Stoßstrombeanspruchung

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

In den meisten Schaltgeräten und vor allem in Funkenstrecken wird der Lichtbogen als Schaltmedium genutzt um abschließend 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. Wie im letzten Jahresbericht beschrieben, muss der Vorgang des Ableitens eines Stoßstromes in unterschiedliche Phasen unterteilt werden. Der Vorgang der Stoßstromableitung ist dabei Bestandteil der hier beschriebenen Forschungsarbeit.

Das Verhalten des Plasmas bei der Ausbreitung in engen Spalten und der damit verbundenen Wechselwirkung mit der Umgebung wird untersucht. Dabei spielt Geometrie und Materialwahl eine entscheidende Rolle. Das Verhalten des Plasmas kann dabei durch unterschiedliche Möglichkeiten rekonstruiert werden.

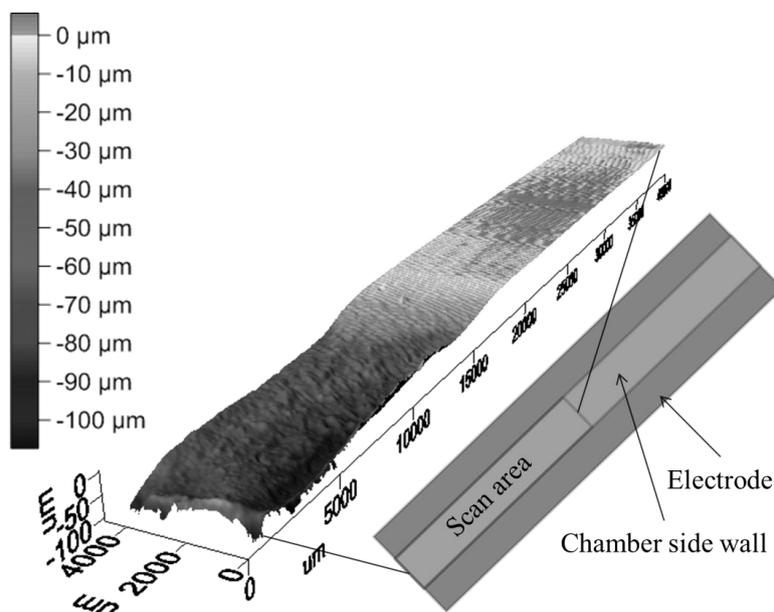


Abbildung 26: Oberflächenscan einer Kammerwand nach einem Energieeintrag von 2700 Ws

Figure 26: Surface scan of side wall after an energy input of 2700 Ws

Eine Art zur Beschreibung der Wechselwirkung kann durch den Abtrag des Materials und der Plasmaenergie erbracht werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Energieeintrag im Plasma und dem Abtrag an der Kammerwand der Prüfanordnung ist dabei vorhanden. Also die Prüfanordnung dient für die Untersuchungen einer Laufschieneanordnung mit parallelen Elektroden, welche durch die Kammerwände umschlossen sind. Durch die Kammerwände wird ein Spalt zwischen den Elektroden gebildet, welcher bei den Untersuchungen variabel ist. Das Kammerwandmaterial besteht bei den Untersuchungen aus einem organischen, stark gasenden Material. Der Abtrag der Spaltanordnung nach 20 Belastungen durch einen Stoßstromimpuls 8/20 mit einer Amplitude von 23 kA und dem daraus resultierendem Energieeintrag von 2700 Ws ist in der Abbildung 26 zu sehen. Aufgenommen wurde die Oberflächentiefe durch den institutseigenen Oberflächenscanner mit einer Abtasttiefe von 3 nm.

Neben dem räumlich dargestellten Abtrag ist das Gewicht der abgetragenen Masse für die Wechselwirkung wichtig. Durch den Abtrag entsteht eine Gasschicht zwischen der Kammerwand und dem Plasma, wodurch dieser weiter eingengt und gekühlt wird. Durch die Gasströmung wird dem Plasma Energie entzogen. Für drei unterschiedliche Stoßstromamplituden in den Höhen von 5 kA, 11 kA und 23 kA wurden 20 Belastungen an der Anordnung durchgeführt und vor und nach den Belastungen das Gewicht gemessen. Die Differenz des Ge-

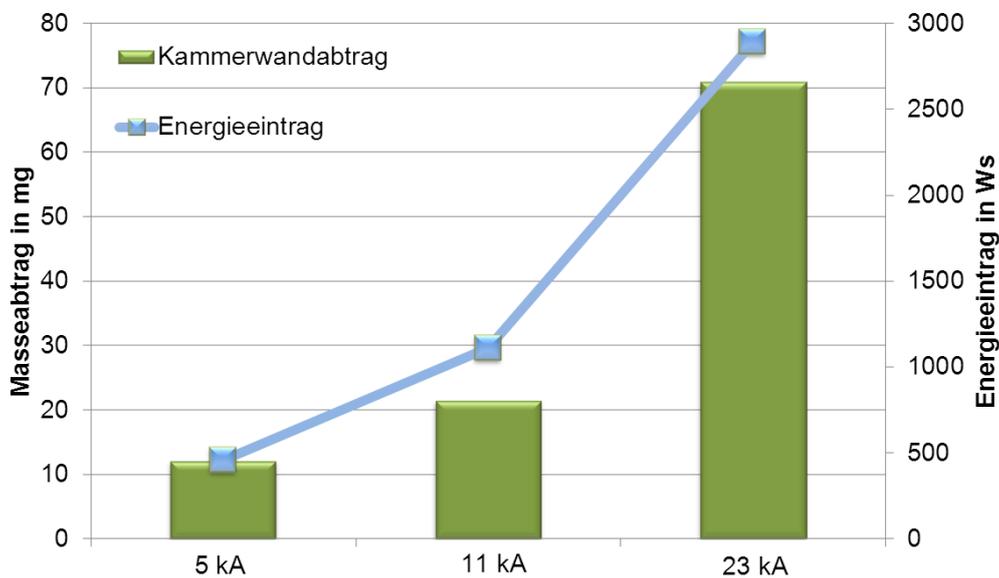


Abbildung 27: Masseabtrag der Kammerseitenwände mit Energieeintrag im Plasma bei unterschiedlicher Stromstärke

Figure 27: Mass ablation of side walls with energy input by different currents

wichtungsmessung ergibt den Masseabtrag (Abbildung 27). Aufgetragen ist die Summe des Masseabtrages beider Kammerwandseiten der Prüfanordnung. Diese begrenzen die Funkenstrecke zwischen den Elektroden und bilden somit den engen Spalt. Es ist mit steigendem Stoßstrom ein deutlicher Anstieg des Masseabtrages erkennbar. Dieser ist auf den Energieeintrag in die Anordnung zurückzuführen. Diese steigt ähnlich stark an wie der Masseabtrag. Der Energieeintrag sowie der Masseabtrag besitzen einen direkten Zusammenhang.

### **Investigations on the behavior of plasma in narrow gaps with impulse current stress**

*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.

In the last year the interaction between the arc and the sidewalls, which quench the arc was investigated. Two parallel tungsten copper electrodes define the spark gap. The width of the arc is defined by the surrounded chamber wall. For the research we used a surface scanner with a depth of 3 nm. After a load of 20 surge currents forms as an 8/20  $\mu$ s impulse the surface is scanned (Figure 26). The mass ablation and the energy input is shown in Figure 27 by different loads with amplitudes of 5 kA, 11 kA and 23 kA. The mass ablation indicates a high level of interaction between the plasma and the chamber wall (Figure 2). The plasma is quenched and further cooled by the gas. The voltage continues to rise.

### **Umbau einer Versuchsanlage zur technologischen Weiterentwicklung von Funkenstreckenableitern**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp*

Eine Funkenstrecke dient zum Schutz elektrischer und elektronischer Geräte vor Überspannungen. Für Untersuchungen an Funkenstreckenableitern ist eine hinreichende Nachbildung der realen Umgebung notwendig. In einer definierten Testumgebung wird hierfür ein Stromimpuls parallel zu einem Netztransformator auf eine Funkenstrecke geschaltet. Wichtig ist bei diesen Untersuchungen der Phasenstand der Netzspannung zu dem Zeitpunkt an dem der Stoßstrom heraufgeschaltet wird. Hierfür wird die Steuerung in einem vorhandenen Labor durch eine digitale Ablaufsteuerung ergänzt. Später können somit systematische Untersu-

chungen von Funkenstrecken und beispielsweise ihres Netzfolgestromverhaltens ermöglicht werden (Abbildung 28).

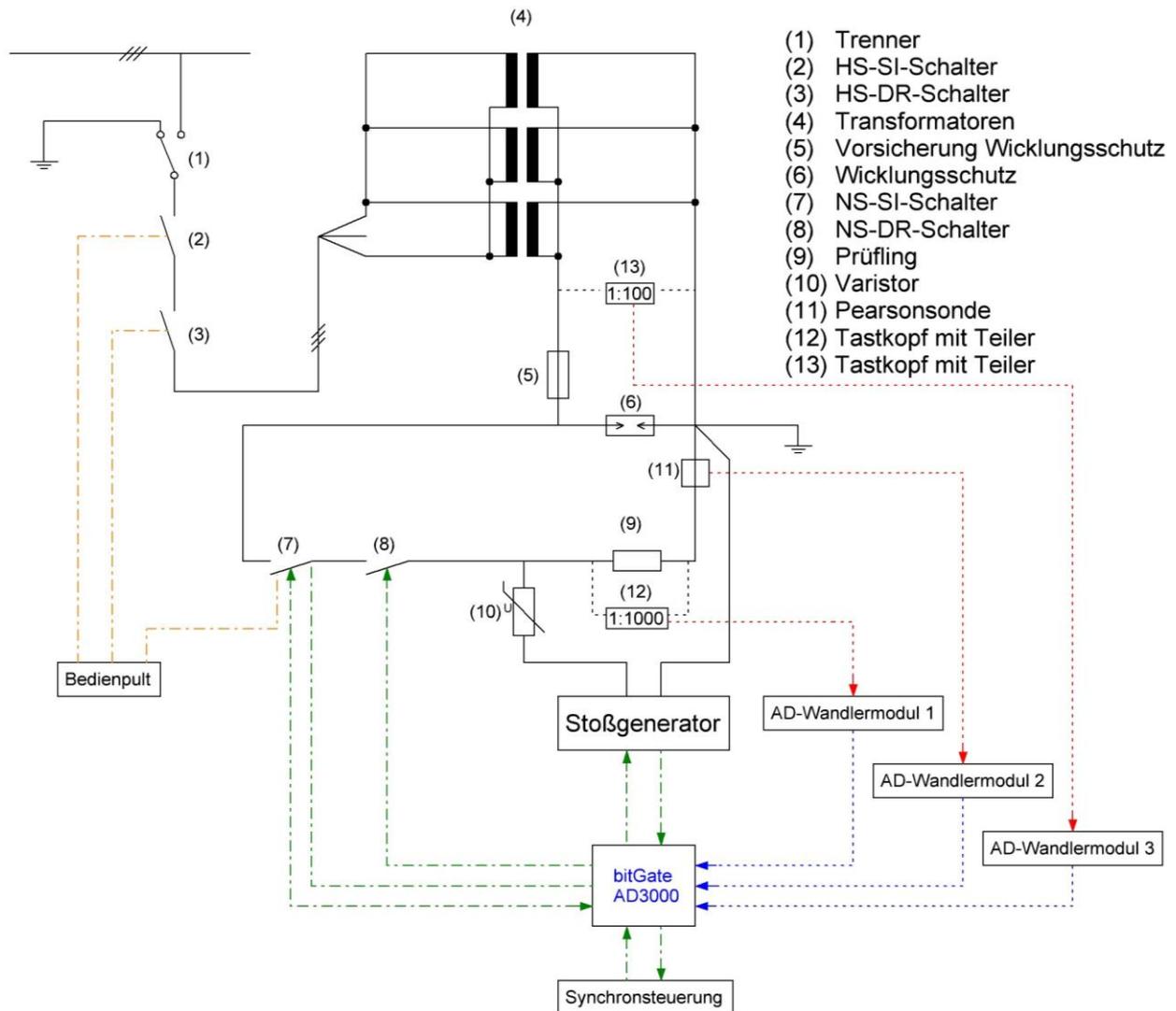


Abbildung 28: Blitzschutzlabor

Figure 28: Lightning protection laboratory

Es wurden für die Versuchsanlage Treiber entwickelt welche über Leistungselektronik den Niederspannungssicherheitsschalter (NS-SI), Niederspannungsdraufscharter (NS-DR) und Stoßgenerator hinreichend zeitdiskret ansteuern. Wobei die von den Schützen hervorgerufenen Überspannungen bei der Entwicklung der Treiber besonderer Beachtung bedurften. Die Ansteuerplatinen sind verbunden mit der Ablaufsteuerung, diese sind ausschließlich über LWL zur elektrischen Entkopplung verbunden. Bei der Ablaufsteuerung handelt es sich um einen in das Messsystem bitGate AD3000 integrierten Sequenzer.

Das neue Messsystem verfügt zusätzlich zu dem Sequenzer über drei durch LWL-Leitungen angeschlossene 14-bit, 100MSample Messsatelliten, welche hinreichen EMV geschirmt sind.

Nach der Erweiterung der Ansteuerung des Labors wurden die Anschlussleitungen durch niederinduktive Kupferschienen ersetzt damit höhere Kurzschlussströme erzeugt werden können. Abschließend wird nun der Niederspannungsdraufscharter durch eine Schalterleihgabe der Firma ABB ersetzt welches auf hinreichend große Kurzschlussströme aufschalten kann.

### **Modification of a testing facility for the development of surge protection devices**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp*

A surge protection device on spark gap technology is used for the protecting of electric and electronic devices due to overvoltage. Therefore it is necessary to emulate the real environment for a spark gap. In a defined testing environment a current impulse will be switched parallel to a transformer on the device under test. For this kind of application it is important to switch the impulse current on a defined phase state of the line voltage. For this purpose, the control in an existing laboratory is supplemented by a digital process control. Later systematic studies of spark gaps and their behavior can thus be made possible.

Power electronic driver were developed for this laboratory which control the low voltage safety switch, the low voltage contactor and surge generator with sufficiently discrete time control. In this connection overvoltage's caused by the contactor required in the development of the driver's special attention. The driver are connected to the control unit, which are connected via optical fibers for electrical decoupling. The control unit is the measuring system bitGate AD3000 with an integrated sequencer. The new measurement system has in addition to the sequencer three 14-bit, 100MSample measuring satellites connected via fiber-optic cables, which are EMC shielded. After the control extension of the laboratory, the power cables have been replaced by copper bars so that higher short-circuit currents can be generated. Finally, the low voltage contactor is now replaced by a contactor loan of ABB which can lock onto large short circuit currents.

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

*Sergej Puzankov, M. Sc.*

Seit der Verabschiedung der EG Verordnung 842/2006, die den Umgang mit den F-Gasen (siehe auch Kyoto Protokoll 2002) stark einschränkt, wird zunehmend versucht die weltweit große Anzahl an SF6-Schaltanlagen durch geeignete Alternativen zu ersetzen. Bedingt durch ihre hohe Schaltspielzahl und Zuverlässigkeit können in vielen Fällen stattdessen Vakuumschaltkammern verwendet werden. Es besteht jedoch noch immer ein hoher Forschungsbedarf (z.B. auf Hochspannungsnetze optimierte Vakuumschaltkammern). Bei diesem Forschungs-

schwerpunkt sollen unterschiedliche elektrische Schaltkontakte im Ultrahochvakuum auf ihr thermisches und magnetisches Verhalten untersucht und simuliert werden. Unter anderem werden mit einer Thermografiekamera die geschmolzenen Fußpunkte des entstehenden Lichtbogens zwischen den Kontakten einer Vakuumschaltkammer, im Verlauf eines Abschaltvorgangs, analysiert.

Zur genauen Messung der Temperatur wird die Hochgeschwindigkeits-Thermografiekamera einer Kalibrierungs-Prozedur unterzogen. Dabei werden, die bislang unbekannt, Emissionskoeffizienten von geschmolzenen Kontaktmaterialien mit Hilfe einer Vakuum-Versuchsanlage ermittelt (Abbildung 29). Das fehlende Wissen über diese Eigenschaften verhinderte bislang genaue Messergebnisse.

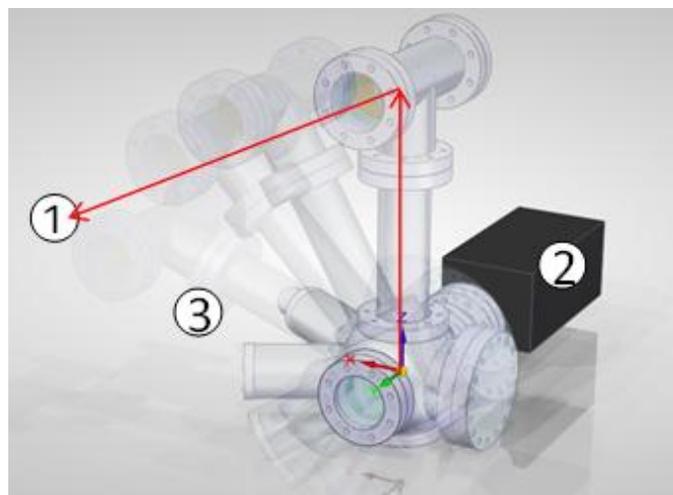


Abbildung 29: Apparat zur winkelabhängigen Messung von Emissionskoeffizienten. Die abgestrahlte Wärme wird mit Hilfe von Spiegeln zur Thermografiekamera gelenkt (1). Ein Induktionsgenerator (2) erzeugt konstante Wärmemenge zur Aufrechterhaltung des Aggregatzustands. Die gesamte Apparatur ist drehbar gelagert (3).

Figure 29: Calibration Setup for liquid metals.

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 30 ist die verwendete Versuchsanlage dargestellt. Durch den Seitenarm 1 wird mit einer Thermografiekamera eine Schaltkontaktoberfläche beobachtet. Parallel dazu zeichnet eine High-Speed-Kamera die Position des Lichtbogens durch die Seitenarme 2 auf. Mit Hilfe von Spiegeln 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. bei einer maximalen Spannung von 3kV und einer Frequenz von 50Hz abgeschaltet und die resultierenden Effekte in einem ca. 20ms großen Zeitfenster untersucht.

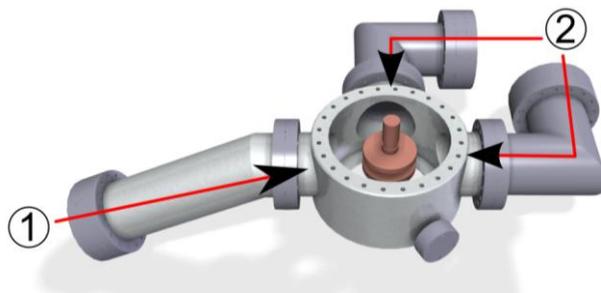


Abbildung 30: Versuchsaufbau zur Messung der Kontakt-Oberflächen-Temperatur (1) und der Bewegung des Lichtbogens (2) im Ultrahochvakuum.

Figure 30: Experimental setup for thermal and magnetic investigation of/between the TMF contacts.

### **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 30 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. To be able to measure temperatures accurately with the thermography high-speed camera it is necessary to calibrate the device. Figure 29 shows the calibration setting for liquid metals. The induction generator (2) induces enough heat into a probe to ensure a stable liquid phase for detailed investigation of the radiate characteristics. The emitted heat rays are reflected by a mirror and deflected to the thermography camera (1). The experimental setup is pivot-mounted so that the angle dependence (3) of the radiate characteristics can be investigated.

#### **3.2.5 Isoliersysteme**

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

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

Elektrische Isolierungen sind fertigungstechnisch und konstruktionsbedingt nicht homogen und ideal. So können sich in den zumeist vorhandenen Hohlräumen aufgrund der hohen Feld-

stärken und der dort geringeren elektrischen Festigkeit Entladungen ausbilden. Diese sogenannten Teilentladungen bzw. Mikroplasmen führen zur Degradation der Feststoffisolationen, wodurch letztendlich ein Versagen der Isolierung verursacht wird. Seit langer Zeit wird zudem zur Gewichts- und Kostenreduzierung der Einsatz von porösen Isolierstoffen (Schäume) angestrebt. Die Einsatzmöglichkeiten in hohen elektrischen Feldern sind allerdings durch die vielen meist gasgefüllten Hohlräume sehr schwierig, da in ihnen Teilentladungen gezündet werden können. Zur effektiven Auslegung und Optimierung solcher Isolationen auf Basis poröser Werkstoffe müssen daher die zugrundeliegenden Mechanismen bekannt sein. Diese sind jedoch bisher nur unzureichend erforscht.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden die Ausbreitungsmechanismen von Mikroplasmen an einfachen Modellen für poröse Werkstoffe grundlegend untersucht. Hierzu werden Messungen sowie Simulationen durchgeführt. Die Entladungssimulationen werden mit einem 3-dimensionalen parallel rechnenden PIC-MC (Particle-In-Cell Monte-Carlo) Simulationsprogramm 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.

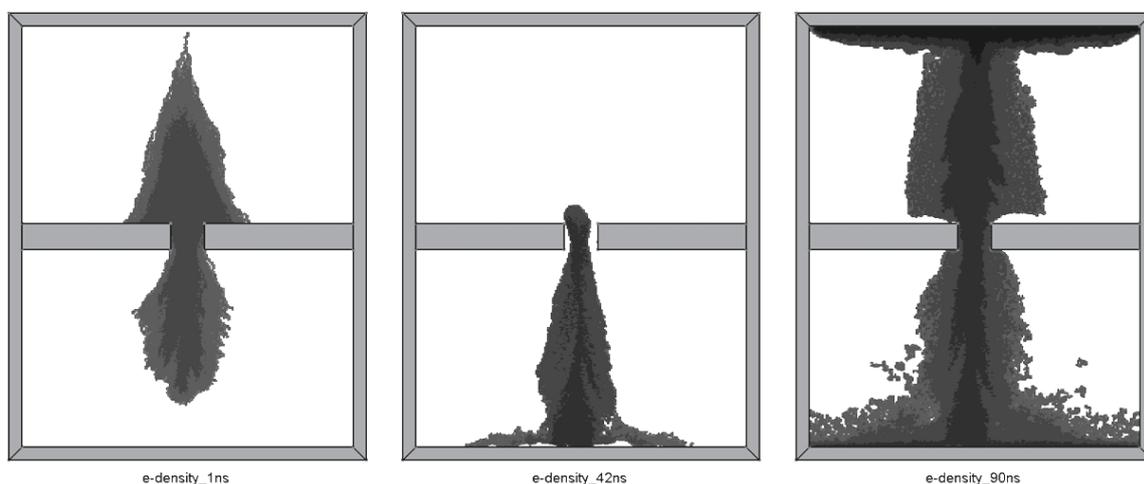


Abbildung 31: PIC-MC Simulationen der Entwicklung der Elektronendichte in einer Multihohlraumanordnung während einer Mikroplasmaausbreitung

Figure 31: PIC-MC Simulation of the propagation of the electron density in an multi-cavity arrangement during a microplasma discharge

In Abbildung 31 kann man exemplarisch die Ergebnisse einer quasi 2D PIC-MC Simulation mit einer Multihohlräumenordnung sehen. Dargestellt ist die Ausbreitung der Elektronendichte einer Mikroplasmaentladung in drei verschiedenen Zeitschritten. 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 Isolationsmedium getroffen werden.

### **Microplasmapropagation in porous materials**

*Dipl.-Ing. Michael Hilbert*

During the production process voids may be created in electrical insulations. Within this voids discharges can 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 leads to further challenges in the context of partial discharges.

Therefore, investigations are completed to determine the behavior and the physical mechanisms of microplasma propagation. Additionally, PIC-MC (Particle-In-Cell Monte-Carlo) simulations are done (tool developed by Fraunhofer-Institute). Figure 31 shows an example of a quasi 2D plasma simulation of a multi-cavity arrangement with PIC-MC. Herein we can see the propagation process of microplasma discharge in three different time steps.

### **Untersuchungen zur Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff**

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

Die Hochtemperatursupraleiter (HTSL) mit Sprungtemperaturen oberhalb des Siedepunktes von Flüssigstickstoff ermöglichen eine Nutzung von ihm als kostengünstiges Kühlmittel. Aufgrund seiner ebenfalls guten dielektrischen Eigenschaften wird der flüssige Stickstoff zusätzlich als Isolator von HTSL Geräten im Hochspannungsbereich verwendet. Durch den unvermeidbaren Eintrag von Wärme in das System können sich im flüssigen Stickstoff Gasbereiche ausbilden die eine Schwachstelle der Isolation darstellen. Vor allem beim Auftreten eines Quenches (Übergang vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand) wird viel Energie in das Kühlmedium eingetragen und dies resultiert im Verdampfen des Flüssigstickstoffes. Die Bereiche mit gasförmigem Stickstoff schwächen die elektrische Isolation. Die Spannungsfestigkeit des Systems muss jedoch weiterhin garantiert werden. Um die Isolation für diesen Fall auslegen zu können, muss der Einfluss der Gasblasen auf die Spannungsfestigkeit bekannt sein.

In dieser Arbeit werden daher die Spannungsfestigkeit von flüssigem Stickstoff und der Einfluss von Gasblasen im flüssigen Stickstoff auf die Durchschlagspannung untersucht. Die Untersuchungen bei Blitzstoßbelastung haben gezeigt, dass für die Ausbildung des Durchschlags die Initiierungs- und Ausbreitungsbedingung der Entladung erfüllt sein müssen. Im reinen flüssigen Stickstoff wird die Initiierungsbedingung über das nötige Feld zur Ladungsträgeremission aus den Elektroden beschrieben. Befinden sich Gasblasen auf den Elektroden, definiert die Spannungsfestigkeit der Gasblase die Startbedingung.

Bei Wechselspannung muss die Blasenbewegung aufgrund der Kraft auf die dielektrische Grenzfläche der Gasblase berücksichtigt werden. Es konnte beobachtet werden, dass sich hierdurch Flüssigkeitsströmungen ausbilden, die die Wärmeabfuhr soweit verbessern, dass das Blasensieden unterdrückt wird. In Abbildung 32 sind die Gasblasen bei gleicher Heizleistung aber unterschiedlicher angelegter Wechselspannung zu sehen. Bei 0 kV befindet sich ein Gasblasenkomplex zwischen den Elektroden wohingegen bei 30 kV keine Gasblasen mehr zwischen den Elektroden vorhanden sind.

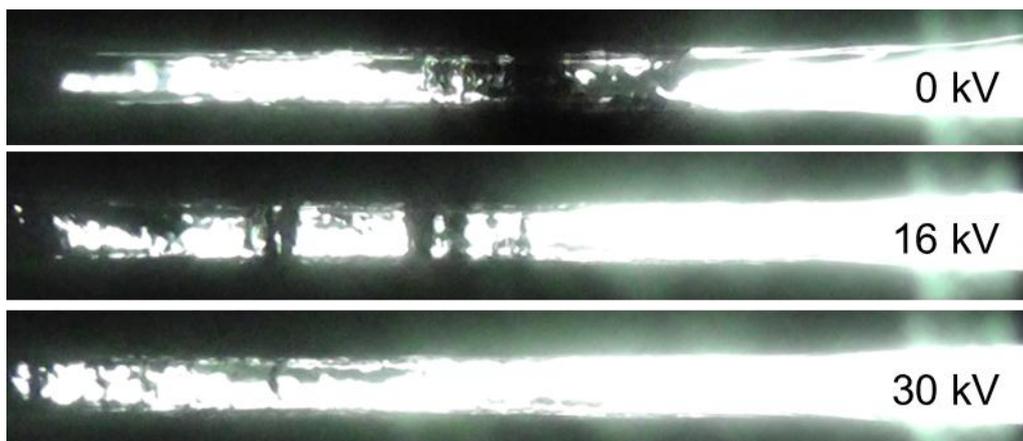


Abbildung 32: Blasenbewegung bei gleicher Heizleistung aber unterschiedlicher angelegter Wechselspannung

Figure 32: Gas bubble movement for different applied AC voltages at constant heater power

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

*Dipl.-Ing. Michael Blaz*

For high temperature superconductors with critical temperatures above the boiling point of liquid nitrogen, the liquid itself can be used as coolant. Due to its good electrical insulation abilities it is also used as electrical insulation. During the design of the insulation system gas bubbles have to be considered because of the heat input, especially during a quench. Therefore, the discharge mechanism in liquid nitrogen and the influence of gas bubbles on these

mechanisms are investigated. Results showed that the impulse discharge voltage depends on the initiation and propagation condition of the discharge. With bubbles present on the electrodes, the discharge voltage of the bubbles determines the initiation condition. For applied AC voltages the movement of the gas bubbles due to the dielectric force on the bubble surface has to be considered. It was shown, that a liquid flow is generated, which increases the heat dissipation and suppresses nucleate boiling. This can lead to the disappearance of the gas bubbles as can be seen in Figure 32.

### Entladungsprozesse in flüssigem Stickstoff

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

Hochtemperatur-Supraleiter werden in immer mehr Pilotprojekten in das bestehende elektrische Netz integriert. Dazu gehören beispielsweise supraleitende Kabel oder Strombegrenzer. Diese Supraleiter werden durch flüssigen Stickstoff gekühlt, welcher gleichzeitig als Isoliermedium dient. Damit es bei Spannungsbeanspruchungen nicht zu einem Durchschlag der Isolierstrecke kommt, ist die Kenntnis der elektrischen Festigkeit von flüssigem Stickstoff und Einflussgrößen auf diese notwendig.

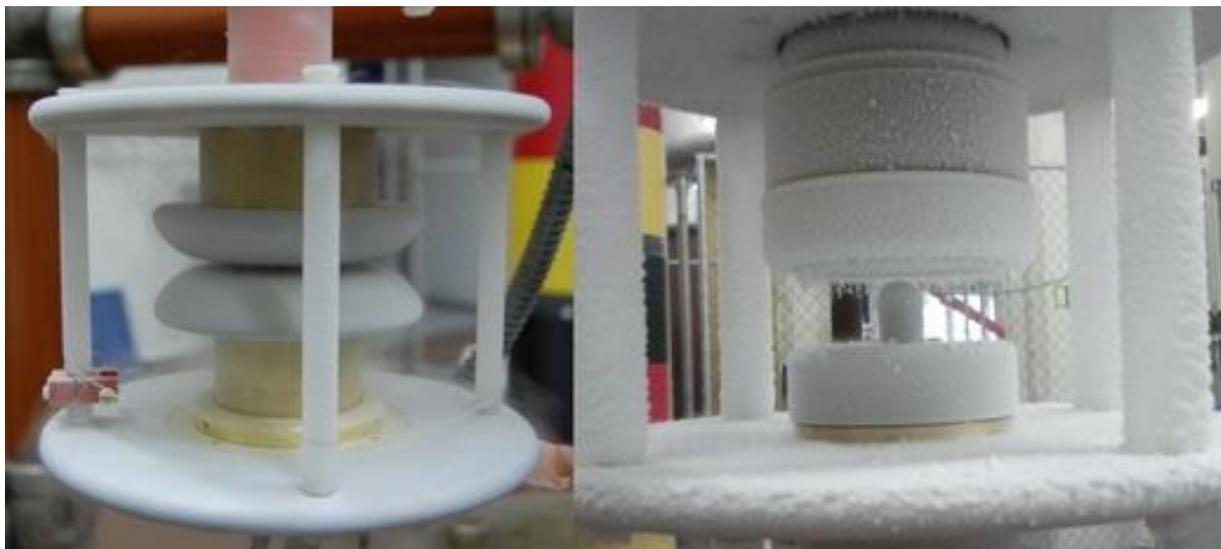


Abbildung 33: Elektrodenanordnungen zur Untersuchung des Entladungsverhaltens in flüssigem Stickstoff

Figure 33: Electrode setup for investigation of discharge behavior in liquid nitrogen

In der Literatur sind Grundlagenversuche zur Erklärung der Durchschlagsmechanismen zu finden. Meist fehlt diesen jedoch die Vergleichbarkeit auf in der Praxis verwendete Geräte. Daher wird an dem Ablauf der Entladungen in flüssigem Stickstoff geforscht um Messwerte für praxisnähere Geometrien zu erhalten und Richtlinien zur Isolationskoordination zu erarbeiten.

Hierfür wurden am elenia sowohl ein neuer Kryostat als auch eine speziell für tiefkalte Temperaturen ausgelegte Hochspannungsdurchführung entwickelt und aufgebaut. Mit Hilfe der Durchführung können die Elektroden im Kryostaten mit dem Hochspannungsgenerator verbunden werden. Durch unterschiedliche Geometrien (Abbildung 33) werden inhomogene oder homogene elektrische Felder erzeugt. Dabei besteht die Möglichkeit durch eine resistive Heizung den flüssigen Stickstoff zum Sieden zu bringen, sodass sich Gasblasen bilden. Dabei werden die dielektrischen Eigenschaften vom Stickstoff betrachtet und der Entladungsablauf mit einer Hochgeschwindigkeitskamera optisch untersucht. Gleichzeitig werden Spannungs- und Stromsignale aufgezeichnet. Von Interesse ist unter anderem von welcher Elektrode die Streamer starten und wie diese sich ausbreiten. Die verwendeten Elektroden sind in der Abbildung 33 zu sehen.

### **Discharge Processes in Liquid Nitrogen**

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

High-temperature-superconductors are integrated into the power grid in an increasing number of prototype projects, for example superconducting cables or current limiters. These superconductors are cooled with liquid nitrogen, which also serves as insulation medium. To prevent discharges of the insulation distance under voltage stress, knowledge of the dielectric withstand capabilities of liquid nitrogen and influences on this dimension is required.

The literature provides explanations of the discharge mechanisms by basic measurements. Usually these measurements lack the comparability to practical applications. Therefore the development of discharges in liquid nitrogen is investigated in this institute to obtain measurement-values for more practical geometries and acquire guide lines for insulation coordination. For that purpose electrodes in a double-walled cryostat are stressed by different voltage forms in the high voltage range. By the use of different geometries inhomogeneous and homogeneous electric fields are achieved. A resistive heater provides the option to boil the liquid and thus generate nitrogen gas bubbles. The dielectric properties of nitrogen are investigated and the discharge process is optically observed by a high-speed camera. In addition voltage and current signals are recorded. The starting electrode of the discharge and the propagation are of interest. The used electrodes are shown in Figure 33.

### 3.2.6 Marktintegration

#### Integration supraleitender Kabel in Mittelspannungs-Verteilungsnetze

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

In der Zukunft der elektrischen Energie-Übertragungssysteme werden verschiedene neue Technologien wie die Supraleitung, Kryotechnik oder Wasserstoffproduktion eine wichtige Rolle spielen. Die Forschung und Entwicklung an supraleitenden Geräten, Maschinen und deren Zubehör ist ein Hauptaspekt, der zur Bewältigung der kommenden Herausforderungen benötigt wird. Die bisher erschienenen Studien konzentrieren sich vor allem auf die Supraleitung in Anwendungen der elektrischen Energie-Übertragungssysteme, insbesondere auf spezifische Pläne zum HTS-Kabel in großen Städten oder HTS-Strombegrenzer. Der größte Teil dieser Studien wird auf dem HTS Kabel im MS Verteilnetz mit hohem Anteil erneuerbarer Energien basierender Ressourcen untersucht. Verschiedene Szenarien der Integration der HTS - Kabeln sind analysiert worden. Die Analysen der verschiedenen Szenarien wurden in unterschiedlichen Zeithorizonten wie heute, 2030, und 2050 durchgeführt

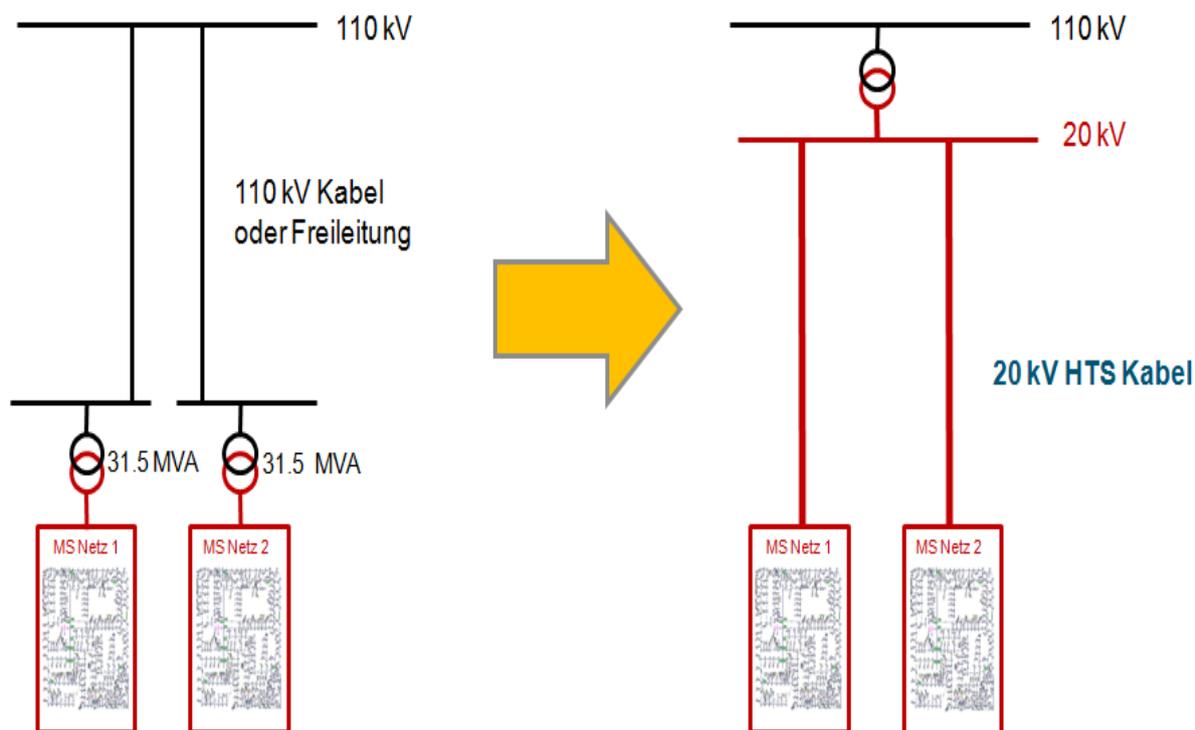


Abbildung 34: Szenario 3

Figure 34: Scenario 3

## Integration of Superconducting Cables into Medium Voltage Distribution Networks

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

In the future of power systems, different new technologies such as superconductivity, cryogenic, and hydrogen production will play an important role. In the current study the feasibility of integration of High Temperature Superconducting (HTS) cables into distribution networks with high penetration of renewable energy based resources were investigated. Different scenarios of integration of HTS cables into medium voltage distribution networks have been analyzed. The analyses of the different scenarios were performed in different time horizons such as today, 2030, and 2050. The high voltage cables, high voltage overhead lines, and medium voltage conventional cables are compared with the medium voltage HTS cables regarding technical and economical issues.

## Bereitstellung von Blindleistung als Systemdienstleistungen in Hochspannungsnetze

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

Die Spannung in den Übertragungsnetzen wird heute maßgeblich durch Leistungsfähige Synchronmaschinen geregelt, welche den Kern der Stromversorgung darstellen. Diese Situation wird sich in der Zukunft jedoch ändern, da mehr Erzeugungsanlagen wie PV- und Windkraftanlagen in verschiedenen Spannungsebenen. Oft fehlt jedoch die Möglichkeit die Spannung mithilfe dieser Anlagen zu regulieren. In Zukunft sollen diese Anlagen eine führende Rolle bei der Spannungsregelung einnehmen. Bereits heute müssen Anlagen nach bestimmten Verordnungen Blindleistung ins Netz einspeisen, welche zur lokalen Spannungshaltung einerseits und auch im Mittelspannungsnetz andererseits benötigt wird (siehe Abbildung 35).

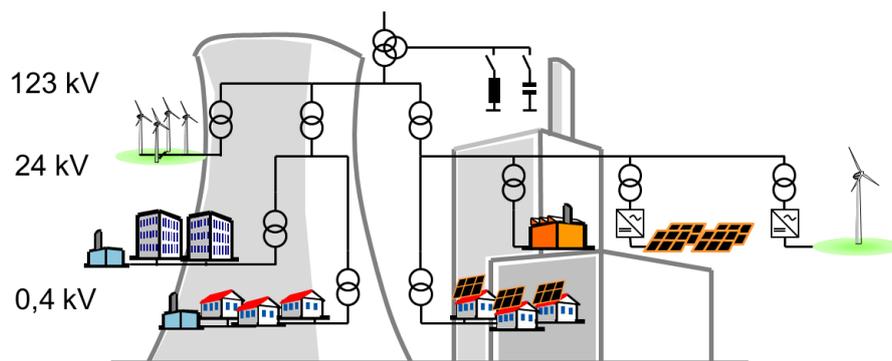


Abbildung 35: Blindleistung Bereitstellung durch dezentrale Erzeugung  
Figure 35: Reactive Power Provision through the Decentralized Generation

In der aktuellen Studie wird die Blindleistungsbereitstellung als Dienstleistung durch dezentrale Anlage im Verteilnetz untersucht. Hierbei wird zwischen den Szenarien „heute“ und „2030“ unterschieden. Dabei werden die deutschen regulatorischen Vorgaben für die Einspeisung je Netzebene berücksichtigt. Das Ergebnis der Studie wird darüber Aufschluss geben wie die Blindleistungsbereitstellung als Systemdienstleistung für das Übertragungsnetz eingesetzt werden kann.

### **Reactive Power Providing as an Ancillary Services into High Voltage Grids**

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

The voltage of transmission power systems has been regulated through synchronous machines which are representing the main core of the power supply grid. However, this situation cannot be resources which are connected at the different voltage levels. Moreover, small wind and photovoltaic resources have been connected through power-electronic devices without the capability of regulating the voltage, whereas new converters enable these resources to play a major role in terms of voltage regulation. Furthermore recent amendments in Germany prescribe the decentralized generation to contribute actively to the voltage regulation at the LV level. Moreover, these units are also required to supply reactive power at MV level. The additionally supplied/absorbed reactive power in terms of the overall distribution level will depend on the respective load situation, the penetration considered to continue as it is, due to the increasing penetration of renewable energy based level of the decentralized generation, and the network topology (see Figure 35). In the current study, the provision of reactive power as an ancillary service from primary and secondary voltage levels into transmission networks through decentralized generation is investigated. Different operation modes of decentralized generation are implemented for two different time horizons, which are the case of today and the case of 2030. The German regulatory framework for the operation of decentralized generators will be taken into consideration. Generic load profiles for each household will be taken into account. The results of this study will show how the chosen operation strategy can affect the potential of providing reactive power as an ancillary service into the transmission network.

### **Blindleistung im aktiven Verteilnetz**

*Fridolin Muuß, M.Sc.*

Die Veränderung des Energiesystems hat bereits vor einigen Jahren begonnen. Innerhalb des Forschungsprojekt SmartNord, welches als Verbundprojekt aus Braunschweig, Oldenburg, Hannover und dem Energieforschungszentrum Niedersachsen vor 1,5 Jahren startete, untersucht das elenia die Möglichkeit der Systemdienstleistungserbringung aus den unteren Span-

nungsebenen heraus. Dabei geht es im Teilprojekt 3.1- Analyse und Entwicklung von Produkten für eine verstärkte Bereitstellung von Systemdienstleistungen- um die gezielte Bereitstellung von Blindleistung für die Spannungshaltung und die Versorgung der höheren Netzebenen mit Blindleistung.. Die Fragestellung rund um das Projekt SmartNord beschäftigten sich mit einer zukünftigen Netzkonfiguration in denen große Kraftwerke im Übertragungsnetz wegfallen und die für die Systemstabilität notwendigen Systemdienstleistungen von den dezentralen Energieanlagen erbracht werden müssen. Die jeweils spannungserhöhende Wirkung von Wirkleistungseinspeisung kann durch geschicktes Blindleistungsmanagement am Erzeugungsort entgegengewirkt werden. Das jeweilige Blindleistungsmanagement der Anlagen kann auf verschiedenen Regelungen basieren, welche sich nach verschiedenen Anschlussparametern (Spannung am Anschlusspunkt), Anlagenparametern (Wirkleistung der Anlage) oder nach festen Steuerungen (Cos Phi) richten.

Aktuell liegt der Kern der Tätigkeit darauf Steuerungen für die Blindleistungsbereitstellung dezentraler Energieanlagen im Verteilnetz zu simulieren und die Ergebnisse auszuwerten und Erkenntnisse abzuleiten. Ziel ist es nach Implementierung eines weitaus größeren Netzes die Handelbarkeit und die Auswirkungen des dezentralen Handels auf den Blindleistungsmarkt untersucht werden.

### **Reactive Power in Smart Grids**

*Fridolin Muuß, M.Sc.*

In research project SmartNord the part of the elenia it is to simulate several possibilities for consuming and supplying reactive power by decentralized generation units. This is important in view of the fact that large power plant in the transmission network will be disconnected in some cases in the future. The essential reactive power for large synchronous machine in the upper voltage levels must further be supplied by the dezentral power units. Therefor are several control methods suitable which are being simulated at the moment.

The designated target is consider about the possibilities of a new market for decentralized renewable energies for the trading of ancillary services.

### 3.3 Dissertationen – Dissertations

#### **Kalibrierensemble für Messgeräte zur Bestimmung des Wirkungsgrades von HGÜ-Umrichtern**

*Enrico Mohns*

Tag der mündlichen Prüfung: 31.10.2013

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Meinhard Schilling

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

In der vorliegenden Arbeit wird über Möglichkeiten zur Kalibrierung der Messtechnik für die integrale Bestimmung des Wirkungsgrades von Umrichtern für die Hochspannungsgleichstromübertragung berichtet. Verluste in diesen Komponenten der elektrischen Energieübertragung gehen im großen Maßstab in deren Wirtschaftlichkeit ein. Es ist daher von großem Interesse diese messtechnisch rückführbar zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung dieses Aspektes der Rückführung auf nationale Normale wird einleitend, und ausgehend von einem kommerziellen multikanaligen Leistungsanalysator mit geeigneten Wechsel- und Gleichstromsensoren aufgezeigt, welche Messgrößen mit zugehörigen Randbedingungen kalibrierbar sein müssen, um die gestellte Aufgabenstellung zu lösen. Dabei zeigte sich, dass sowohl Messsysteme zur Kalibrierung von Leistungsanalysatoren, als auch Messsysteme zur Kalibrierung von breitbandigen Wechselstrom- und Wechselspannungssensoren aufgebaut bzw. untersucht werden müssen.

Ein Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Messtechnik zur Kalibrierung des Leistungsanalysators mit breitbandig verschmutzten Gleich- und Wechselstromsignalen. Es konnte gezeigt werden, dass diese vorteilhaft auf der, die Sekundärgrößen der Hochspannungssensoren emulierenden Kleinsignalebene durchgeführt werden kann. Die Anstrengungen konnten sich damit auf den Aufbau hochwertiger, und dem Anwendungszweck angemessen breitbandiger Komponenten konzentrieren. Der so aufgebaute Wirkungsgrad-Kalibrator integriert eine hochwertige multikanalige Signalerzeugung, Stromverstärker mit galvanisch isolierten Kanälen, breitbandige Messwiderstände mit zugehörigen Messverstärkern, sowie ein duales, mit bis zu  $2 \times 8$  Eingängen ausgestattetes, selbstkalibrierendes Messsystem mit einem kommerziellen, hochauflösenden 2-Kanal Digitizer. Zusammengefasst wurden die zugrundeliegenden Theorien diskutiert und die Rückführung dieses Referenzmesssystems dargestellt.

Auch auf dem Gebiet der Messwandler sind Anstrengungen nötig, um sowohl den Anforderungen nach genauen Messmöglichkeiten mit hohen Wechselspannungen und Wechselströmen im Bereich der Netzfrequenz einerseits, als auch dem Bedarf nach angemessen breitbandigen Messmöglichkeiten für die eingesetzten Hochspannungssensoren andererseits gerecht zu werden. Nach Erläuterung der zugrundeliegenden Theorien und der vorhandenen Mess-

technik zur Kalibrierung konventioneller Messwandler, wurden die Änderungen und Anpassungen der existierenden, wie auch der Aufbau neuer Messtechnik dargestellt. Im Ergebnis dieser Arbeit können nun analoge Spannungs- und Stromsensoren mit praktisch beliebigen Sekundärpegeln, basierend auf den etablierten Normalspannungs- und Normalstromwandlern der PTB im Bereich der Netzfrequenz bis maximal  $400 \text{ kV}/\sqrt{3}$  oder  $100 \text{ kA}$  kalibriert werden. Zusätzlich wurden entsprechend breitbandige Messsysteme und zugehörige Referenzen aufgebaut. Messunsicherheitsbudgets weisen die erreichten Genauigkeiten nach.

### **Calibration ensemble of measuring instruments for determining the efficiency of HVDC converters**

In this work, suitable calibration equipment for measuring instruments for the determination of the integral conversion efficiency of converters for high-voltage direct current transmission is shown. Losses in these components of electric power transmission represent an important key factor when determining their life cycle costs. It is therefore of high interest to determine their losses, or equivalently their efficiency in a metrologically traceable manner.

Taking into account this aspect of traceability to national standards, a commercially available modular ac and dc power measurement system is used in the introduction to identify the required measurement quantities and their boundary conditions. It was found that calibration systems for calibrating multi-channel power analyzers as well as measurement systems for the calibration of wideband alternating current and voltage sensors need to be developed or tested.

One focus of this work was the calibration of the power analyzer with wideband polluted dc and ac signals. It is shown that this can be advantageously carried out using emulated secondary voltage and current signals of the high-voltage sensors as calibration signals. These emulate typical waveforms of modern multi-level voltage source converters. The efforts could thus focus on building high quality components for a small-signal reference measurement system with reasonable wideband behavior. This new power and efficiency calibrator integrates a high-quality multi-channel signal generator, a transconductance amplifier with electrically isolated channels, wideband measuring resistors with associated instrumentation amplifiers, as well as a dual - with up to  $2 \times 8$  input-equipped - self-calibrating sampling system with a commercial, high-resolution two-channel digitizer. In summary, the underlying theories were discussed and the traceability of this reference measurement system was demonstrated.

In the field of instrument transformers, additional efforts are needed to meet the requirements for accurate measurement capabilities for high-voltage wideband sensors with high ac voltages and currents at mains frequencies on the one hand, and their assessment in the audio frequency range using frequency response measurement capabilities on the other hand. After explaining the underlying theories and the existing measurement systems for the calibration of

conventional transformers, the necessary changes and the adaptation of the existing equipment, as well as the development of new measurement equipment are shown. As a result of this work, analogue voltage and current sensors with virtually any secondary voltage or current level can be calibrated, based on the well-established standard voltage and current transformers of PTB at the mains frequency and at primary voltages or currents up to  $400 \text{ kV}/\sqrt{3}$  or  $100 \text{ kA}$ , respectively. In addition, a wideband measurement system for high-voltage sensors with associated references was developed. Uncertainty budgets demonstrate the accuracies reached.

### **Systembasierte Integration erneuerbarer Energieumwandlung über die Mehrwegevermarktung virtueller Pools**

*Phillip Gronstedt*

Tag der mündlichen Prüfung: 11.12.2013

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
  2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Zbigniew A. Styczynski
  3. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
- Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders

Die Energiewirtschaft sieht sich durch stetig ändernde Rahmenbedingungen und neue technische Entwicklungen großen Herausforderungen gegenüber. Das übergeordnete Ziel einer klimaschonenden Energieversorgung unter zunehmendem Verzicht auf Kernenergie sowie fossile Heizkraftwerke birgt ein enormes Potential für die dezentrale Energieversorgung.

Ein virtueller Zusammenschluss von dezentralen Erzeugungsanlagen eröffnet den Betreibern ein weites Spektrum an Vermarktungswegen und kann im Zuge der zunehmenden Relevanz für die Direktvermarktung einen wichtigen Aspekt für die zukünftige Wirtschaftlichkeit dezentraler Anlagen bilden. Dieses gekoppelte Einsatzkonzept findet über die Bildung eines virtuellen Anlagenpools mit einem Hybridmodell für Erzeugungsanlagen der Technologien Wind, Photovoltaik, Mikro-BHKW und Biogas sowie flexiblen Verbraucherlasten und Speichersystemen Umsetzung. Dabei verzahnt der gewählte Ansatz mit zentral erteilten Zielvorgaben und einem hohen Autonomiegrad der Einheiten die Ansätze eines zentralen und dezentralen Fahrplanmanagements. Der koordinierte Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen hat gezeigt, dass sich für einen flexiblen Anlagenverbund technische Freiheiten ergeben, die von einer einzigen Optimierungsstrategie nicht vollkommen erschlossen werden können.

Erweiterung erhält dieses Fahrplanmanagement für virtuelle Anlagenpools daher über die Implementierung eines innovativen Vermarktungsansatzes. Werden virtuelle Kraftwerke meist fokussiert auf einen wirtschaftlichen Einsatzweg optimiert, versucht der Ansatz der Mehrwegevermarktung die vielfältigen Optimierungsmöglichkeiten eines virtuellen Anlagen-

verbundes effizient zu kombinieren. Über ein vielschichtiges Datenbanksystem wird die komplexe Erlösseite mit über 3.000 verschiedenen Produkten dezentraler Energieanlagen abgebildet. Über die Analyse von Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Vermarktungswege entstehen erlösmaximierende Optimierungsprobleme, die über entsprechende Routinen innerhalb des Fahrplanmanagements implementiert werden.

Anwendung findet das Fahrplanmanagement kombiniert mit dem Ansatz der Mehrwegevermarktung in einem konkreten Anwendungsfall für ein existierendes Verteilnetz, dass die Wirtschaftlichkeit dieser Kombination der beiden Konzepte quantitativ analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der erarbeitete virtuelle Anlagenpool unter Verwendung eines Mehrwegevermarktungskonzepts sowohl technisch als auch wirtschaftlich große Vorteile gegenüber dem Einzelanlagenbetrieb liefert.

### **Grid-Integration of Distributed and Renewable Energy Resources -Using a Virtual Pool Approach with a Multiple Business Strategy**

The integration of high shares of distributed energy resources (DER) based on renewables will increasingly alter the traditional structure of the energy sector. This thesis analyses the transformation process on distribution networks and implements a virtual pool of decentralized units combined with a flexible demand side in order to enhance their grid and market integration.

The elaborated option is an overall decentralized schedule management system for pooled micro combined heat and power units and biomass plants with regard to the thermal storage capability, wind power plant, photovoltaic systems, a flexible demand side and stationary electrical energy storage systems. The virtual power plant with its' flexibility also increases the market perspectives for each power unit. By following this approach not just market barriers can be met, but also the flexibility of the pool helps to gain more profit on the trade of energy. Furthermore, by shifting or balancing power consumption and generation negative grid effects such as load peaks can be reduced effectively. Pooling DER by using a decentralized schedule management system improves the future feasibility for large scale integration of renewable energy resources.

The virtual DER pool is enhanced by modeling an innovative market approach. Taking low or any governmental incentive for renewable energies for the upcoming decades into account, power plant operators need to introduce and reconsider their market strategies. Several different forms of application are available for virtual power plants compared to single operated units. The strategy is to run a number of DER combined in a flexible pool on multiple markets. The idea has parallels to the acknowledged portfolio concept from the finance sector where the number of assets hold in the portfolio determines the volatility. Following a week-ahead multipurpose strategy over 80 different options for linking spot market, balancing power and Over-the-Counter products are available for pool operators. Therefore, high peak peri-

ods of the given market options can be entered and unprofitable periods can be avoided. By combining the most profitable ones the pool operator creates a market portfolio which limits risks and increases revenues. This multipurpose operation mode opens up a strategy for further market integration of renewable energy resources independent from governmental incentives.

A feasible virtual power plant concept linked with a new market approach can advance the further integration progress of renewables in local distribution networks from an economic point of view as well as a technological perspective.

### **Untersuchung der inneren Blitzstoßspannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen**

*Ingo Gramberg*

Tag der mündlichen Prüfung: 18.12.2013

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Das Ausschalten hoher Ströme und insbesondere von Kurzschlussströmen in der Energieversorgung stellt erhebliche Anforderungen an die eingesetzten Schaltgeräte. Hohe Stromdichten an den Schaltkontaktstücken führen zu deren Abbrand und sorgen langfristig für Verschleißerscheinungen nach häufigen Schalthandlungen. Treten die Verschleißerscheinungen in erhöhtem Maße auf, kann dieses zu einer Beeinträchtigung bis hin zu einem technischen Versagen des Schaltgerätes führen. Die Arbeit „Untersuchung der inneren Blitzstoßspannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen“ behandelt die Ursachen und die Entstehung einer verminderten Spannungsfestigkeit von Vakuumschaltkammern nach Ausschaltversuchen. Die Untersuchungen wurden an einem Vakuum-schaltkammertyp für den Mittelspannungseinsatz durchgeführt.

Die untersuchten Vakuumschaltkammern wurden mit Ausschaltversuchen bei variierender Stromstärke und Schalthäufigkeit belastet. Die Erzeugung der 50 Hz Lastströme im synthetischen Prüfkreis gewährleistet, dass die Versuchsbedingungen bei Ausschaltversuchen den regulären technischen Betriebsbedingungen der Vakuumschaltkammer gleichen. Die Bewertung der Blitzstoßspannungsfestigkeit geschieht auf Grundlage von Blitzstoßspannungsprüfungen am Marx-Generator. Der Vergleich ungeschalteter Vakuumschaltkammern mit Vakuumschaltkammern nach vorangegangenen Ausschaltversuchen zeigt, nach wie vielen Versuchen eine Reduktion der Blitzstoßspannungsfestigkeit zu erwarten ist.

Während der Ausschaltversuche verdampft Schaltkontaktstückwerkstoff und kondensiert auf den inneren Oberflächen der Vakuumschaltkammer. Die Schildgeometrie der ausgewählten Vakuumschaltkammer schützt die inneren Keramikoberflächen nicht vollständig vor einer Bedampfung durch Schaltkontaktstückwerkstoff. Nach dem Öffnen der Vakuumschaltkammern erfolgte die Untersuchung der Bedampfungsschichten auf den inneren Keramikoberflächen. Fotografische Aufnahmen mit einer Endoskopkamera zeigen unterschiedliche Ausprägungen der Bedampfung nach unterschiedlich häufigen Ausschaltversuchen bei variierenden Lastströmen. Die Messung der Schichtdicke und der prozentualen Zusammensetzung von Bedampfungsschichten erfolgte durch die „Elektronenstrahl-Mikroanalyse“. Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigen die Oberflächenstruktur der bedampften Keramiken. Durch Messungen mit einem Elektrometer wurde die Leitfähigkeit der Bedampfungsschichten gemessen. Es wird ein Zusammenhang zwischen Schichtdicke, Schichtstruktur und Leitfähigkeit diskutiert.

Die Berechnung der elektrischen Feldverteilung liefert Erkenntnisse über den Einfluss unterschiedlich stark bedampfter Keramikoberflächen auf Feldmaxima innerhalb der Vakuumschaltkammer. Die Ergebnisse einer transienten Simulation der Blitzstoßspannungsprüfung werden genutzt um den zeitlichen Verlauf des Durchschlagsprozesses innerhalb der bedampften Vakuumschaltkammer zu erforschen. Auf Grundlage der elektrischen Feldberechnung und der transienten Simulation, zusammen mit den Erkenntnissen aus den Bedampfungsschichtuntersuchungen und den Blitzstoßspannungsmessungen wird ein Modell des Durchschlagsprozesses entwickelt.

### **Lightning impulse voltage tests of vacuum circuit breakers after switching operations**

Switching high currents and short circuit currents places considerable demands on circuit breakers. High current densities on contact surfaces cause loss of contact material. Intensive contact erosion can lead to technical failure of circuit breaker. This work “Investigations on the inner lightning impulse voltage performance of vacuum circuit breakers after switching operations” deals with the effect of reduced dielectric strength of vacuum interrupter (VI) after switching operations. The investigations were carried out on a VI for medium voltage.

Switching operations were carried out at different current intensities from 5 kA<sub>eff</sub> to 20 kA<sub>eff</sub>. Also the number of switching operations was changed, in order to simulate different technical demands. Currents with a 50 Hz sineform for switching operations were generated in a high power testfield. This guarantees that the test conditions are similar to the technical demands of the VI. Lightning impulse voltage tests were performed to evaluate the dielectric performance of VIs. Comparison of new VIs with VIs after several switching operations reveals the reduction of dielectric performance of investigated VI.

During switching operations, contact material is being evaporated. The metal vapour condenses on inner surfaces of the VI. Shieldings inside the VI should protect the inner ceramic

surfaces from being coated by metal vapour, but a small area of ceramic surface becomes coated as well. After opening the VIs, the evaporation layers on ceramics became visible. The area of coated ceramic surface grows bigger with increasing number of switching operations and increasing test currents. Measurement of layer thickness was done with “electron probe microanalysis”. Pictures with “REM” show the structure of ceramic with and without evaporation layers. The electric conductivity of coated ceramic surface was done with an electrometer. A connection between surface layer thickness, structure of coated surface and conductivity is discussed.

Calculation of electric field gives information about the influence of different intensities of coatings on the maximum field strength inside the VI. Transient simulation of VI was performed to investigate the process of dielectric breakdown inside the VI with lightning impulse voltage and coated ceramics. Electric field simulation, transient simulation together with results from the investigations of coated ceramic surfaces were used to build up a model for the vacuum breakdown in VI, when segments of the ceramics are covered with contact material.



## 4 Besondere Ereignisse 2013 - Special Events 2013

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

#### 09.01.

GEENI Auftaktveranstaltung in  
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff*



#### 11.01.

Konsortialtreffen aktive Netzstation IWES,  
Königstor

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 16.01.-17.01.

EMRP Symposium PTB Braunschweig,  
Call 2013 - Energy & Environment

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 23.01.

VDE Neujahrsempfang

*Teilnehmer: M. Kurrat, O. Binder,  
M. Hilbert, H. Köpf, T. Schrank*

#### 24.01

Kick-Off Meeting Projekt virtuelles  
Bilanzkreiskraftwerk VWK

*Teilnehmer: B.Engel*

#### 25.01.

FNN Expertennetzwerk DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 25.01.

BSW Pressefrühstück | Vortrag "Batterie-  
speicher, ein sinnvolles Element der Ener-  
giegewende"

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 29.01.

BMWi, Sitzung AG Speicher, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 31.01./1.2.

Workshop BMU-Projekt "EVE" Drübeck

*Teilnehmer: B. Engel, F. Funck*

#### 05.02.

BLB Workshop Batterie

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 05.02.

BMU, Workshop zum Einspeise-  
management, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 07.02.

SmartNord Workshop TP 3, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.02.**

EFZN Vorstandssitzung, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.02.**

BMWl, Vorstellung der EFZN-Speicherstudie, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**13.02.**

Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches e.V. | Vortrag "SmartGrid", Hannover

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14.02.**

Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches e.V. | Vortrag "SmartGrid", Hamburg

*Teilnehmer: B. Engel*

**14.02.-16.02.**

Workshop Energietechnologien

*Teilnehmer: M. Kurrat, AG Energietechnologien*

**15.02.**

NFF-Förderworkshop im MobileLife Campus, Wolfsburg

*Teilnehmer: Antragsoffice-elenia*

**18.02.-19.02.**

TAB Fachforum 2013 "Smart Grid/-Smart Meter", Grußworte des FNN-Vorstandes, Ulm

*Teilnehmer: B. Engel*

**26.02.**

elenia Studienseminar "Energietechnik von Morgen", Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: Alle*

**01.03.**

Workshop der Geschäftsstelle mit VS Consulting Team GmbH

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

**05.03.-06.03.**

Tagung INPLAS

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, V. Ermel*

**05.03.-08.03.**

Photovoltaik Symposium Kloster Banz, Sitzungsleitung, Bad Staffelstein

*Teilnehmer: B. Engel*

**06.03.**

Vortrag - Aktuelles aus Forschung und Wissenschaft zum Schwerpunktthema „DC“, Labor-Erfahrungsaustausch akkreditierter Laboratorien, IPH Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**15.03.**

FNN-Vorstandssitzung, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**19.03-20.03.**

PV System Technology, Podiumsdiskussion mit Eingangspräsentation, Düsseldorf

*Teilnehmer: B. Engel*

**08.04.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.04.-12.04.**

Gemeinschaftsstand auf der Hannover  
Messe in der Metropolitan Solution

*Teilnehmer: Div. Mitarbeiter (elenia)*

**09.04.**

Gemeinschaftsstand Dezentrale Energie-  
versorgung von ESCO Forum im  
ZVEI und B.KWK auf der Hannover  
Messe 2013 mit Podiumsdiskussion

*Teilnehmer: B. Engel*

**11.04**

SmartNord TP3 Evaluationstreffen mit  
Gutachtern des MWK, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat, P. Gronstedt*

**12.04.**

FNN DEZ, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**19.04.**

FNN-Forum, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**25.04.**

BMWi, AG Systemsicherheit, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**26.04.**

Besuch Prof. Ken Kimura

*Teilnehmer: M. Hilbert, u.a.*

**26.04.**

Leitung des EFZN Workshop - Fachbe-  
reich Energiewandlung, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**02.05.**

50 Jahre Promotion Prof. Dr.-Ing. Jürgen  
Salge, elenia

*Teilnehmer: Alle*



**02.05.2013**

Vortrag auf der GPM-Veranstaltung:  
Multiprojektsteuerung in Politik, Verwal-  
tung und Forschung: Mehr Erfolg bei glei-  
chem Einsatz

*Teilnehmer: B. Engel, B. Schottel*

**03.05.**

Vortrag auf dem NFF Richtfest

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**09.05.**

50. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Kurrat

*Teilnehmer: Alle*



**15.05.**

Vortrag auf dem SmartNord TP3 Symposium zur Zwischenevaluation, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**14.-16.05.**

PCIM in Nürnberg

*Teilnehmer: B. Engel, O. Binder, H. Köpf, F. Soyck*

**14.-16.05.**

Chalmers Energy Conference in Schweden

*Teilnehmer: V. Ermel, N. Hemdan*

**17.05.**

DKE AK EMOBILTY.30, Sondersitzung  
E-Nutzfahrzeuge

*Teilnehmer: F. Soyck*

**21.-23.05.**

Exkursion Vorlesung Hochspannungstechnik II, ABB, Ratingen

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, S. Puzankov, C. Ryll, T. Kopp*

**21.-23.05.**

Pfingstexkursion, ABB Ratingen, E.On  
Datteln; PTJ Jülich(Textor)

*Teilnehmer: T. Kopp; B. Engel; S. Koch; S. Diekmann; D. Unger; div. Studenten*

**28.-29.05.** PMO-Workshop mit VS  
Consulting Team GmbH

*Teilnehmer: Projektmanagementoffice-  
elenia (PMO)*

**28.05.**

Ringvorlesung

*Teilnehmer: Alle*



**05.-06.06.**

Ausrichten des Supraleiterseminars,  
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Blaz, N. Hill,  
u.a.*

**06.06**

Beiratssitzung Zukunftsfähige Netze für  
Erneuerbare Energien, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**06.06**

FNN-Förderkreissitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

**07.06.**

Antriebstechnisches Kolloquium,

Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**13.06.**

BLB Vollversammlung, IWF

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14.06.**

ZVEI FV Energie, Vorstandssitzung,

Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**17.06.**

OTTI-Seminar, Monitoring and Operation  
of PV-Systems, München

*Teilnehmer: B. Engel*

**17.06.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**17.06.-18.06.**

EMRP ENG07 Metrology for HVDC -  
Final Meeting in Helsinki

*Teilnehmer: V. Ermel, O. Binder*

**20.06.**

SmartNord Tagung mit anderen Norddeut-  
schen SmartGrid Projekten, Vortrag

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**20.06.**

PV Grid Forum, Intersolar, Vortrag,  
München

*Teilnehmer: B. Engel*

**22.06.**

TU Night 2013

*Teilnehmer: Diverse Mitarbeiter - elenia*

**26.06.**

Kolloquium "Erneuerbare Energien":

Verabschiedung Fr. Nardmann

*Teilnehmer: Alle*



**27.-28.06.**

Isolierstoffkolloquium 2013, KIT  
Karlsruhe

*Teilnehmer: M. Kurrat, I.Gramberg,  
N. Hill, T. Kopp, M. Blaz, M. Hilbert,  
B. Kühn*

**01.-03.07.**

EMRP Call 2013 - Energy & Environment  
Partnering Meeting in Teddington

*Teilnehmer: E.-D. Wilkening*

**02.07.**

Gutachterausschuss Energie, KIT,  
Karlsruhe

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**02.07.**

Institutsausflug

*Teilnehmer: Alle*



**03.07.**

Semesterabschlussgrillen

*Teilnehmer: Alle, Studierende*



**04.07.**

BSW Fachgruppe Netzfragen, Bonn

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.07.**

Mentorentreffen, Hochspannungshalle

*Teilnehmer: M. Kurrat, N. Hill, T. Kopp*

**12.07.**

SmartNord Quartalstreffen, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.07.**

Vortrag auf dem Tag für Bauen und Umwelt, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**19.07.**

Promotion A. Kornhaas, Ilmenau

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**29.07. – 02.08.**

ESAS Summer School on Material and Applications on Superconductivity

*Teilnehmer: N. Hill*

**05.-06.08.**

NFF Workshop, Kloster Wöltingerode

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06.08.**

Besuch der HS Augsburg, Prof Finkel und LEW

*Teilnehmer: B. Engel, AG Energiesysteme*

**08.08.**

elenia Studienseminar "Neue Technologien im aktiven Verteilnetz und in der Elektromobilität", Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: Alle*

**28.-.29.08**

Workshop Energiesysteme

*Teilnehmer: B.Engel, AG Energiesysteme*

**05.09.**

DKE AK EMOBILTY.30, Frankfurt

*Teilnehmer: F. Soyck*

**05.09.**

FNN Taskforce "Weiterentwicklung der Verteilnetze", Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.09.**

Einweihung der ersten induktiven Ladestelle im ÖV mit Staatssekretär Bomba, BS

*Teilnehmer: B. Engel*



**10.09.**

Presse-Event "Einweihung erster induktiver Ladestelle im öffentlichen Raum", Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel, F. Soyck*

**12.09.**

DKE/AK 124.06. 5. Sitzung - Hochspannungsprüfungen an Niederspannungsgeräten, Frankfurt

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**15.09. – 19.09.**

11th European Conference on Applied Superconductivity

*Teilnehmer: M. Blaz, N. Hill*

**16.-24.09.**

7. Energy-Seminar für Brasilianer, PTB / TU BS

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**17.09.**

Sitzung Beirat "Zukunftsfähige Netze für EE", IWES Kassel

*Teilnehmer: B. Engel*

**18.09.**

Dena Dialogforum „Netzentgelte im Stromversorgungssystem – Fragen und Ansätze zur Weiterentwicklung“, Berlin

*Teilnehmer: F. Soyck*

**18.09.**

Workshop AO mit EU-Büro der TU Braunschweig

*Teilnehmer: Antragsoffice (AO)*

**19.09.**

ZVEI FV Energietechnik, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**23.09.**

1. NFF Doktorandentag, Wolfsburg

*Teilnehmer: J. Bellin, O. Binder, D. Hauck, U. Westerhoff*

**27.09.**

4. Energietag der Region, PALÄON, Schöningen

*Teilnehmer: B.Engel*

**30.09.-02.10.**

PVSEC , Paris

*Teilnehmer: B. Engel, F. Funck, F. Soyck*

**09.-11.10.**

AKK Karlsruhe

*Teilnehmer: M. Lindmayer, H. Köpf,  
J. Rütther, S. Puzankov, T. Kopp*

**09.10.**

Besuch einer israelischen Delegation

*Teilnehmer: B. Engel, D. Unger, F. Soyck,  
S. Laudahn, M. Hilbert*

**16.-17.10.**

net2013, Goslar

*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann,  
F. Funck, F. Soyck, J. Wussow*

**21.-23.10.**

24. EEMLS Topical Meeting,  
Braunschweig

*Teilnehmer: E.-D. Wilkening, O. Binder*

**24.-25.10.**

10. VDE/ABB-Blitzschutztagung

*Teilnehmer: T. Kopp*

**28.-29.10.**

Workshop elenia Roadmap, Steinhuder  
Meer

*Teilnehmer: Alle*



**31.10.**

Mobilitätskonzepte der Zukunft, Wolfen-  
büttel; Vortrag: "Weiterentwicklung und  
Anwendung der induktiven Energieüber-  
tragung (Primove System) für den Öffent-  
lichen Personennahverkehr"

*Teilnehmer: F. Soyck*

**31.10.**

Doktorprüfung Enrico Mohns

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

**01.11.**

PMO-Workshop mit VS Consulting Team  
GmbH

*Teilnehmer: Projektmanagementoffice-  
elenia (PMO), Institutsleitung, Geschäfts-  
stelle*

**05.-06.11.**

ETG Kongress, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, N. Hemdan,  
F. Muuß, J. Mummel, A. Dammasch,  
M. Bunk, S. Laudahn, F. Soyck, D. Unger,  
H. Loges, B. Osterkamp, J. Wussow*

**08.11.**

EFZN Kuratorium, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.- 13.11.**

4. ETG Fachtagung Grenzflächen, Dresden

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, N. Hill,  
B. Kühn*

**13.11.**

SolarDachAtlas Großraum Braunschweig,  
Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel*

**15.11.**

BSW Fachgruppe Netzfragen, Kassel

*Teilnehmer: B. Engel*

**18.-19.11.**

OTTI-Fachforum, Netzanschluss von  
PV-Anlagen, Kassel

*Teilnehmer: B. Engel*

**19.11.**

Berufungsausschuss Energietechnik,  
TU Hamburg-Harburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**20.11.**

NFF Hauptversammlung, Haus der Wis-  
senschaft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**28.11.**

Strategieworkshop zum Forschungs- und  
Entwicklungsbedarfs im Bereich Sys-  
temdienstleistungen (SDL) in Energiesys-  
temen mit hohem Anteil erneuerbarer  
Energien, Bundesumweltministerium  
Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**29.11.**

Projekttreffen dena-Studie „Systemdienst-  
leistung 2030 aus dem Verteilnetz“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**03.12.-05.12.**

FNN-Fachkongress 2013, Nürnberg

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.12.**

Informationsveranstaltung Lehre, elenia

*Teilnehmer: Alle*

**11.12.**

Doktorprüfung Phillip Gronstedt

*Teilnehmer: Alle*

**18.12.**

Doktorprüfung Ingo Gramberg

*Teilnehmer: Alle*

**18.12.**

Doktorprüfung Stetz, Universität Kassel

*Teilnehmer: B. Engel*

**19.12.**

elenia Betriebsversammlung und  
Weihnachtsfeier

*Teilnehmer: Alle*

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

### Politischer Abend der GPM

#### Multiprojektsteuerung in Politik, Verwaltung und Forschung

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

Die Forschungslandschaft wird zunehmend durch Projekte geprägt. Dies führt zu einem Spannungsfeld aus Forschung, Lehre und Projekten. Um eine ausgewogene Distribution zu realisieren, etabliert das elenia ein Qualitäts- und Ressourcenmanagement mit der Herausforderung eines fluktuierenden wissenschaftlichen Mitarbeiterstammes, der Verteilung von Landesmitteln und der Drittmiteleinwerbung. Die Chancen und Herausforderungen der zukünftigen Forschung zeigen sich durch eine stärker vernetzte Wissensgesellschaft und sich schnell ändernden Anforderungen. Für eine nachhaltige Forschung auch bei wechselnden Mitarbeitern hat das elenia daher ein Projektmanagementoffice (PMO) eingeführt. Das PMO gliedert sich in die drei Bereiche Managementoffice (MO), Projektoffice (PO) und Antragsoffice (AO). Die Offices bearbeiten eigenständig ihre Aufgabenbereiche und ergänzen sich untereinander durch wöchentlich stattfindende Jour Fixe Runden.

Wichtig ist der Austausch der Erfahrungen solcher Einrichtungen. Aus diesem Grund hat die Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (GPM) zu einem Politischen Abend in Berlin am 02.05.2013 eingeladen (Abbildung 36). In der ehemaligen Jerusalemkirche wurden Vertreter aus Politik, Verwaltung und Forschung sowie weitere Interessierte begrüßt. Aus der Politik und Verwaltung durften Vertreter der Bundesministerien des Inneren, der Gesundheit und der Verteidigung, sowie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie begrüßt werden. Neben dem elenia war auch die TU Berlin als Forschungseinrichtung vertreten.



Abbildung 36: Herr Dr. von Schneyder (GPM) hält einleitende Worte zum Auftakt der Präsentationen

Figure 36: Mr. Dr. von Schneyder (GPM) begins with the introduction of the event

Zu dem Bereich Politik hat Herr Konrad Heyd, Leiter der Abteilung Straßenwesen und Verkehr im Regierungspräsidium Stuttgart referiert. Er berichtete über die enorme Anzahl der zusteuernden Projekte sowie der unterschiedlichen Interessennehmer, wie Verkehrsteilneh-

mer, Anlieger und Naturschützer. Die große Herausforderung besteht dabei in der dominierenden Linienhierarchie sowie der Trennung von Ressourcenkompetenz und Aufgabenkompetenz in einer Landesverwaltung

Aus der Verwaltung berichtete Herr Dr. Thomas Pricking, Leiter des Landesbetriebs IT.NRW (Information und Technik Nordrhein-Westfalen) über den „Erfolg von Innen“ beim Projektmanagement. Als statistischen Landesamt sowie IT-Dienstleistungszentrum bieten Sie zentrale Dienstleistungen für das Land NRW an. Die Herausforderungen liegen hierbei vor allem in dem Termindruck durch Wahlen, Bezügeverfahren und Zensus sowie den kurzfristigen gesetzlichen Verpflichtungen und der Ressourcenverknappung und Engpässen. Lösungsansätze werden durch die Einführung eines Projektservices sowie der Durchführung von Wissensmanagement und Risikomanagement erzielt. Des Weiteren sollen einheitliche Methoden, Prozesse und Standards eingeführt werden. Aber auch ein Projektcontrolling soll helfen die Vielfalt an Projekten noch besser steuern zu können.

Prof. Bernd Engel berichtete über die Einführung des Projektmanagement Offices am elenia und der daraus resultierenden Erfahrungen am Institut. Seit Mitte 2012 besteht diese Institution am elenia. Durch anfangs noch wenige Mitarbeiter gegründet erfreut sich das PMO derzeit an mehr als 10 Mitarbeitern. Das PMO unterstützt die Institutsleitung als auch die Mitarbeiter bei der Bewältigung des Spannungsfeldes aus Forschung, Lehre und Finanzierung sowie der Vielzahl an Projekten. Eine steigende Komplexität im Forschungsumfeld wird durch zusätzliche Lehrveranstaltungen sowie der wachsenden Anzahl der Dienstleistungen und der zunehmenden Industrieprojekte hervorgerufen. Dem entgegengewirkt, wird durch mehr Transparenz bei Prozessabläufen, bei zusätzlicher Gewährleistung der Qualität in Lehre und Forschung durch eine engere Einbindung der Mitarbeiter. Das Ergebnis ist ein noch besseres Management der Projekte bei zusätzlicher Verbesserung der Lehr- und Forschungsqualität.

### **Political Evening of the GPM**

#### **Multi-project management in politics, administration and research**

*Dipl.-Ing. Bernd Schottel*

The research field is becoming increasingly Project-oriented. This generates tension between research, teaching and projects. To achieve an equal distribution, elenia consolidates a quality and resource management with the challenges of a changing staff, distribution of state funds and the acquisition of third party funds. The possibilities and challenges of future research present themselves through the stronger network of the scientific community and the rapidly changing requirements. Therefore, elenia has established a project management office (PMO), to assure sustainable research even with a changing staff. The PMO is divided in three sections: Management office (MO), project office (PO) and request office (AO). The offices operate independently in their scope of duties and complement each other through weekly meet-

ings. The exchange between these sections is specially important. Therefore, the German Society for Project Management (GPM) organized a political afternoon in Berlin on May 2, 2013 (Figure 36). Representatives from politics, administration and research as well as other interested parties were received in the former Jerusalem church.

### **Gemeinschaftsstand auf der Hannover Messe in der Metropolitan Solution**

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

Das elenia beteiligte sich in diesem Jahr am Gemeinschaftsstand des KoNaMo – Kompetenznetzwerk Nachhaltige Mobilität unter der Leitung von Herrn Schwartzkopff. Gemeinsam mit 28 weiteren Mitausstellern aus Industrie und Forschung, darunter auch das IMAB (Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen) und das BLB (Battery LabFactory Braunschweig) wurden die Themenbereiche Fahrzeug, Gebäude, Kommunikation, Energie und Infrastruktur beleuchtet. Der Stand war in Halle 1 der Metropolitan Solutions aufgebaut, welche Technologien und Dienstleistungen für Städte, Gemeinden und Kommunen aufzeigen sollte. Das elenia beschäftigte sich mit den Fragestellungen zur Energie- und Verkehrswende. Keines ist ohne Voranschreiten des anderen umsetzbar und verlangt politischen und wissenschaftlichen Rückenwind.

Neben den Ausstellungsstücken, Plakaten und Postern war ein Podium aufgebaut, um sein Unternehmen oder Vorhaben präsentieren zu können. Jeder Tag war dabei geprägt durch ein Schwerpunktthema, wie bspw. Infrastruktur. Am Schwerpunkttag „Energie“ gestaltete das elenia ein Rahmenprogramm mit Vorträ-



Abbildung 37: Mitarbeiter des Instituts vor dem Standbereich des elenia

Figure 37: Members of the Institute at the booth of elenia



Abbildung 38: Moderierte Podiumsvorträge des elenia am „Energie“-Tag

Figure 38: Moderated Presentations at the “energy”-day

gen zu den Themen „Energiewende“ und „Elektromobilität“. Neben Vorträgen aus der eigenen Forschungsarbeit konnten Dr. Mackensen vom Fraunhofer IWES und Herr Heinemann vom IWF der TU Braunschweig gewonnen werden.

Zudem war an diesem Tag die Botschafterin von Ruanda am Stand, um sich über das Kompetenznetzwerk zu informieren. So wurde auch unser Mitarbeiter und C/o der Firma Carbon-Scouts, Benjamin Munzel, zu weiteren Gesprächen nach Ruanda eingeladen. Dass Eindruck hinterlassen wurde zeigt auch die diesjährige Einladung des KoNaMo zum Liberation Day (Ruandischer Feiertag) in die deutsche Botschaft Ruandas in Berlin.



Abbildung 39: left to right, Lars Person (Person Consulting), Christine Nkulikiyinka (Botschafterin von Ruanda), Benjamin Munzel (Carbon-Scout, elenia), Stephan Schwartzkopff (KoNaMo)

Figure 39: See above

### **Joint stand at the Hannover Messe (Hannover Fair) in the Metropolitan Solution**

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

The elenia participated in this year's joint stand of the KoNaMo - Competence network for sustainable mobility under the direction of Mr. Schwartzkopff. Together with 28 other co-exhibitors from industry and research, including the IMAB (Institute of Electrical Machines, Drives and trains) and the BLB (Battery LabFactory Braunschweig) the subjects vehicle, building, communications, energy and infrastructure were highlighted. The stand was built in Hall 1 of the metropolitan solutions, technologies and services which should show for cities, towns and municipalities.

The elenia dealt with the issues related to energy and transport policies. None can be implemented without progress of others and requires political and scientific background. In addition to the exhibits, billboards and posters, a panel was set up to showcase its business or operations can. Each day was characterized by a main topic, such as infrastructure. Special Focus on "Energy" designed the elenia a program of lectures on "Energiewende" and "Electric Mobility". In addition to presentations from our own research, Dr. Mackensen (Fraunhofer ISET) and Mr. Heinemann, IWF - TU Braunschweig, could be won. Moreover, on this day the Ambassador of Rwanda was on the stand, to learn about the competence network. It was also our employees and C / o of the company's carbon-scouts, Benjamin Munzel, invited for further

talks to Rwanda. Was left that impression shows, this year's invitation to KoNaMo Liberation Day (Rwandan holiday) in the German Embassy of Rwanda in Berlin.

### **Exkursion nach Düsseldorf vom 21.-23.05.2013**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp*

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 eine dreitägige Exkursion in diesem Zeitraum organisiert. Für 30 Euro hatten die Studierenden die Gelegenheit Firmen um Düsseldorf näher kennen zu lernen.

Am Dienstag früh startete die Reisegruppe mit insgesamt 49 Teilnehmern nach Düsseldorf. Am ersten Tag ging es direkt zu den ABB Research Laboratories Ratingen. Dort wurden wir von Herrn Dr. Rümenapp empfangen, welcher uns erst einmal ein zu einem reichhaltigen Mittagessen einlud. Anschließend wurde von der Firma ABB eine kurze Übersicht über die Themenschwerpunkte, mit denen sich die Research Laboratories beschäftigen vorgestellt. Nach einer kurzen Präsentation der Arbeitsperspektiven für die Studenten folgte eine hervorragend geführte Werksführung, durch die Fertigung der Vakuumschalter über Kabelendverschlüsse bis hin zu Schaltanlagen die vor Ort angefertigt werden. Die Fertigungstiefe und die modernen Fertigungsanlagen der Vakuumschalter waren sehr beeindruckend. Am Abend bezogen alle Teilnehmer die Jugendherberge in Düsseldorf die uns sehr an Bequemlichkeit überraschte. Anschließend wagte sich die Exkursionsgruppe in das Nachtleben von Düsseldorf.

Am nächsten Tag fuhren wir nach einem reichhaltigen Frühstück nach Datteln um dort den modernen Kraftwerksneubau Datteln 4 zu besichtigen. Empfangen wurden wir von Herrn Schlottmann, der nach einer kurzen Übersicht über die politische Situation des Baustopps die Exkursionsgruppe über das Baugelände führte. Die Exkursionsgruppe erhielt besondere Einblicke die bei laufendem Betrieb nicht ohne weite-



Abbildung 40: Exkursionsteilnehmer

Figure 40: Excursion participants

res möglich sind, so waren wir unter anderem bei der Besichtigung im inneren des Kühlturmes und direkt in der Netzleitwarte. Weiterhin wurde uns ein kurzer Einblick in die größte Bahnstromumrichter-Anlage der Welt ermöglicht, welche auf der Technologie von Insulated Gate Commutated Thyristors beruht. Nach einem kurzen Imbiss vor den Toren des Kraftwerks fuhr die Exkursionsgruppe zurück nach Düsseldorf. Dort wurde uns bei einer kleinen Stadtführung die rheinländische Kultur etwas näher gebracht. Das Abendprogramm gestaltete freundlicherweise die Firma ABB und lud die gesamte Exkursionsgruppe zum Abendessen ein.

Am letzten Tag der Veranstaltung besuchten wir das Forschungszentrum Jülich. Dort wurde uns ermöglicht einen Blick auf das Fusionsexperiment TEXTOR zu werfen, welches das letzte Jahr im Betrieb ist. Herr Dr. Neubauer erklärte uns zuerst die einfachen theoretischen Grundlagen, anschließend beobachteten wir von der Leitwarte aus zwei stabile Plasmareaktionen im Tokamakreaktor. Abschließend für diesen Programmpunkt führte uns Herr Dr. Neubauer in den Versuchsraum selbst und erläuterte uns detailliert die Versuchs- und Messtechnik des Experimentes. Auf dem Forschungscampus wurden wir von Herrn Frielinghaus geführt, dieser stellte uns eine Vielzahl von Versuchen vor. Abschließend besichtigte Herr Frielinghaus mit uns den hauseigenen Supercomputer, die Elektronikfertigung und einen Teil des Instituts für Energie- und Klimaforschung welcher sich mit Erdbeobachtungssystemen auseinandersetzt. Nach diesen interessanten Exkursionen fuhren wir geschafft am Donnerstagabend mit den Studenten wieder in Richtung Braunschweig zurück.

### **Field trip to Düsseldorf 21st - 23rd May 2013**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp*

The university of Brunswick normally uses the week after Pentecost for study trips. All students get the chance to participate on trips of one or several institutes. As it has been done in the last years the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems organized a three days trip. For 30 Euro the students had the possibility to get to know companies located around Düsseldorf.

On Tuesday the 21st the group started with 49 participants. The destination on the first day was the ABB Research Laboratories Ratingen. We were welcomed by Dr. Rümenapp who as a start invited us to lunch. Afterwards, we got introduced to the working focus of the Research Laboratories and a quick presentation of the human resources management. Then we took part in a guided tour through the factory in Ratingen. We got the chance to see the high-tech fabrication of Vacuum circuit-breakers, switching systems and parts for power cables. After the visit of the Research Laboratories we headed towards youth hostel in Düsseldorf, checked in and were surprised by the comfort. Then the group ventured into the nightlife of Düsseldorf.

On the next day after a rich breakfast we drove to Datteln in order to visit the power plant Datteln 4 from the company E.ON Kraftwerke.. Mr. Schlottmann welcomed us and gave a introduction about the political situation of building freeze of the power plant. After the introduction he guided us over the area. We were able to get some special views which are not possible on a working power plant. We saw the cooling tower from the inside, and directly the network control unit. At the end of the walk we got a quick view of the worlds largest train power converter build on basis of Insulated Gate Commutaded Thyristors. Afterwards we headed back to Düsseldorf for a city sightseeing tour to get a view on the culture of that area. ABB invited the whole excursion group to dinner that evening. On the last day we visited the research centrum in Jülich. Our first stop there was the fusion-experiment TEXTOR which is in the last year of service. Dr. Neubauer first explained the theoretical background. Afterwards we were able to see two stable plasma reactions inside the tokamak-reactor from the control room. Then Dr. Neubauer took us to the reactor room and explained to us on-site the test and measurement equipment.

On the campus Mr. Frielinghaus guided us through several scientific buildings. At the end we visited the super computer of the campus, the electronic fabrication and a part of the institute for energy- and climate-research. This concluded the field trip and we headed back to Brunswick with new ideas for our studies.

### **TU-Night 2013 – Die Wissenschaftsnacht**

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Zum Tag der offenen Tür der Technischen Universität Braunschweig wurde statt dem TU-Day wie schon im Vorjahr die TU-Night veranstaltet. Mit mehr als 25.000 Besuchern war sie wieder ein voller Erfolg und hat sich damit fest in Braunschweig etabliert. Zukünftig soll ein jährlicher Wechsel zwischen TU-Day und TU-Night stattfinden. Das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia präsentierte sich wie gewohnt mit einem Stand in der Schleinitzstraße, auf dem diverse Poster und Exponate über die Forschungsarbeit am elenia informierten und zum Anfassen und Erforschen einluden.

Neben dem Mini-Marx-Generator der wieder lautstark auf sich aufmerksam machte, wurden Komponenten der zukünftigen elektrischen Energieversorgung vorgestellt. Unter anderem wurden Isolatoren, Schalter, ein Wechselrichter und ein Plug-In-Hybrid-Batteriesystem präsentiert. Letzteres findet Einsatz in Elektro-Kommunalfahrzeugen. Als weitere Highlights wurden aus dem Projekt Fleets-Go-Green die E-Autos C-Zero und der E-Smart vorgestellt (Abbildung 41). Aktuelle Herausforderungen wie Reichweite und Preis von Elektrofahrzeu-

gen, aber auch Themen wie Ladeinfrastruktur und Netzintegration wurden anschaulich diskutiert.



Abbildung 41: WiMi's präsentieren elenia-Exponate: Elektrofahrzeuge (A), Batteriesystem (B), Isolatoren, Schalter, etc. (C), Mini-Marx-Generator (D)  
 Figure 41: elenia staff presenting exhibits: Electric vehicles (A), battery-system (B), insulators, switches, etc. (C), Mini-Marx-generator (D)

Abseits vom Straßenstand bestand im Foyer des elenia wieder die Möglichkeit sich die Haare zu Berge stehen zu lassen. Wer den Mut hatte sich durch den Bandgenerator auf 150.000 V aufladen zu lassen, durfte als Belohnung auch eine Fotourkunde mit nach Hause nehmen (Abbildung 42). Ebenfalls langjährige Tradition und frühzeitig ausgebucht waren wieder die Führungen und Experimente in der Hochspannungshalle des elenia. Ein Blitzüberschlag auf ein Modellauto durch den Marx-Generator, der Lichtenberg-Versuch und der Betrieb des großen Tesla-Transformators konnten wieder bestaunt werden. Als neuer Versuch und großes Highlight wurde ein modulierter Tesla-Transformator vorgestellt, welcher sogar Musik spielen kann.

### TU-Night 2013 – The Science night

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

For the second time Braunschweig University of Technology has organized the TU-Night for the public. With over 25.000 visitors, it was again a great success and has become so firmly

established in Braunschweig. The institute of High Voltage Engineering and Electrical Power Systems – *elenia* - has presented itself as usual with a stand in the Schleinitzstraße, which informed the visitors via various posters and exhibits about the ongoing research in *elenia*. In addition a mini-Marx generator and different components of future electrical power supply were presented. Apart of insulators, switches, inverters and a plug-in hybrid battery system which is used for electric cars were also presented. Furthermore, the C-Zero and the E-Smart were introduced to the exhibit visitors as a contribution of the Fleets Go-Green project (Figure 41). Current challenges such as range and price of electric vehicles, also issues such as charging infrastructure and network integration of electric cars were discussed with the visitors.



Abbildung 42: Experiment Bandgenerator  
Figure 42: experiment “Bandgenerator”

As interesting offer from *elenia* every year the people again had the opportunity to be charged by the “Band Generator” at 150,000 V and let the hair stand up at the end (Figure 42). Finally, if you had the courage you could take a photo as an award certificate with you. Also as a tradition the experiments in the high voltage hall of *elenia* were conducted and presented to the public this year. A lightning strike on a car model by the Marx generator, the “Lichtenbergexperiment” and the operation of Tesla transformer could be admired again. A new experiment was introduced by Tesla transformer this year.

## 7. Braunschweiger Supraleiter Seminar

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

Die Energiewende in Deutschland stellt uns vor große Herausforderungen. Besonders durch den geplanten Netzausbau ergeben sich neue Anforderungen an die Energieübertragung. Die

Supraleitung kann einen Beitrag zur Bewältigung dieser Aufgaben leisten. In der Medizintechnik und der Teilchenphysik erfüllt die Supraleitung bereits hohe Anforderungen.

Am 5. - 6. Juni 2013 fand das 7. Braunschweiger Supraleiterseminar statt. Hier wurden die Chancen und Herausforderungen an die Supraleitung diskutiert. 10 Fachvorträge wurden von namenhaften Firmen und Institutionen (Nexans, Bruker, ABB, Fraunhofer-Institut [IWES],



Sumitomo, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik) in Form von Präsentationen über den derzeitigen Stand der Technik gezeigt. Es wurden Eindrücke über die wirtschaftliche Einordnung der Supraleitertechnologie, sowie die Anwendungsmöglichkeiten und Fertigung präsentiert.

Hierbei wurden Einflüsse auf den Ausbau und die Verwendung der Supraleiter aufgezeigt. Laufende Projekte wie AmpaCity in Essen wurden durch Nexans vorgestellt. Das Haus der Kultur bot eine gemütliche und ruhige Atmosphäre um einen Dialog zwischen Entwicklern der theoretischen Grundlagen und den Produzenten in der Wirtschaft zu ermöglichen. Die Möglichkeit für Diskussionen und Gespräche wurden außerhalb der Fachvorträge gut genutzt um Kontakte zu knüpfen.

## **7th Braunschweiger Supraleiter Seminar**

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*



The Energiewende in Germany poses huge challenges. Especially the planned expansion of the power grid produces new requirements for the power transmission. The super conductivity can provide solutions to fulfill these tasks. In the medical sector and particle physics superconductivity already matches high requirements.

The 7<sup>th</sup> Braunschweiger Supraleiterseminar took place on the 5<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> of June. Chances and challenges of superconductivity were discussed. In 10 presentations of well-known companies and institutions (Nexans, Bruker, ABB, Fraunhofer-Institut [IWES], Sumitomo, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik) the state of the art of superconductivity was shown. Impressions of the economic classification of the superconducting technology and the application possibilities were presented. Influences on the expansion and application of superconductors were

demonstrated and ongoing projects like AmpaCity in Essen conducted by Nexans were introduced.

The “Haus der Kultur” provided a comfortable and calm atmosphere for the dialog between developers of the theoretical basics and the manufacturers in the economy. The chance for discussions outside of the presentations was well used to establish social contacts.

### **Forschungsprojekt EMRP ENG07 Metrology for HVDC - Abschlusstreffen in Helsinki**

*Dipl.-Ing. Ole Binder, Dr.-Ing. Vladimir Ermel*

Seit 2010 arbeitet das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) gemeinsam mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) an Verfahren zur präzisen Verlustbestimmung an selbstgeführten Stromrichtern und Stromrichterventilen. Geforscht wurde im Speziellen im Rahmen des EU geförderten Forschungsprojekts EMRP ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current. Weitere Projektteilnehmer waren SP (Schweden), I.N.R.I.M (Italien), MIKES (Finnland), NPL (Großbritannien), UME (Türkei), VSL (Niederlande) und Trench (Schweden); darüber hinaus unterstützten weitere Institutionen aus Industrie und Forschung das Projekt. Im Juni 2013 fand das ENG07-Abschlusstreffen in Helsinki statt (siehe Abbildung 43). Die Projektteilnehmer planen für die nächsten Jahre weitere gemeinsame Forschungsaktivitäten im Bereich der Hochspannungsmesstechnik unter Berücksichtigung aktueller technischer Entwicklungen.

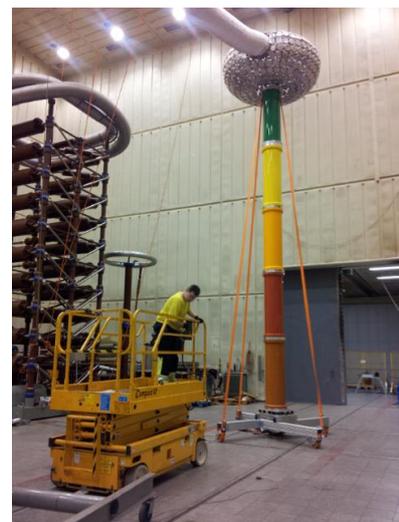


Abbildung 43: Links: MIKES in Helsinki (Finnland). Rechts: 1 MV Spannungsteiler.

Figure 43: Left: MIKES in Helsinki (Finland). Right: 1 MV voltage divider

Über die letzten Jahrzehnte sind die Anforderungen an die elektrischen Netze europaweit gestiegen: Es muss mehr Energie übertragen werden und die Netze müssen in deutlich höherem Maße in der Lage sein untereinander Energie zu transferieren. Gleichzeitig sollen große erneuerbare Energiequellen, wie die Offshore-Windenergie, für die Energieversorgung erschlossen werden, um u.a. ehrgeizige Klimaschutzziele erfüllen zu können. Die Netze stoßen im Bereich der Energieübertragung an ihre Kapazitätsgrenzen. Um den gestiegenen Anforderungen und neuen Aufgaben gerecht zu werden, sind Netzerweiterungen notwendig. Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ, engl.: HVDC transmission) ist die vielseitig gewählte Technologie, die die herkömmlichen Drehstromnetze stabilisieren kann und den effizienten und zielgerichteten Transport großer Mengen von Energie selbst über weite Entfernungen ermöglicht.

Im Rahmen des Projekts ENG07 wurde die metrologische Infrastruktur für HGÜ-Systeme (Betriebsspannungen bis zu 800 kV) weiterentwickelt – siehe Abbildung 43 (rechts) als Beispiel. Dies umfasst zuverlässige Messverfahren, die für Schutzmaßnahmen oder die Abrechnung auf wirtschaftlicher Seite eingesetzt werden können. Das Überwachen der Qualität der Energieversorgung mit ausreichender Präzision ermöglicht Herstellern von Betriebsmitteln das Bestimmen und schrittweise Reduzieren von Verlusten.

### **Research Project EMRP ENG07 Metrology for HVDC - Final Meeting in Helsinki**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Since 2010 the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) and Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) cooperate in the field of loss measurement on self-commutating converter and converter valves. The Research was done in the framework of the project ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current funded by EU. Other participants were SP (Sweden), I.N.R.I.M (Italy), MIKES (Finland), NPL (Great Britain), UME (Turkey), VSL (Netherlands), Trench (Sweden) and further collaborators supported the project. In June 2013 there was the final meeting of ENG07 in Helsinki (see Figure 43). The research project participants plan further cooperation in the field of metrology for high voltage transmission under consideration of latest technical developments.

The metrology infrastructure to support HVDC transmission at the proposed 800 kV working levels was created in the framework of the ENG07 project – see as example Figure 43 (right). This contains reliable measurement technology for protection or billing purposes, to enable monitoring power quality with sufficient precision and to empower the manufacturers of equipment to determine and iteratively reduce energy losses.

## **Erster Doktorandentag des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik (NFF)**

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

Dieses Jahr fand zum ersten Mal der Doktorandentag des Niedersächsischen Forschungszentrums für Fahrzeugtechnik statt. Die Veranstaltung steht als erste am Beginn einer Serie alle zwei Jahre stattfindender Doktorandentage. Veranstaltungsort war der „Mobile-Life-Campus“ in Wolfsburg. Über 50 Doktoranden sowie unterschiedliche Forschungsprojekte der NFF-Institute und auch eine Studenteninitiative präsentierten ihre Forschungsprojekte und stellten ihre Forschungsergebnisse zur Diskussion.

Als Mitglied des NFF war auch das Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen – elenia vertreten. An drei Postern im Forschungsschwerpunkt Elektromobilität sowie dem Stand der „Battery Lab Factory (BLB)“ präsentierte das elenia aktuelle Forschungsarbeiten. Nach der Begrüßung wurden im Rahmen zweier geführter Rundgänge Kurzvorträge zu fortgeschrittenen Doktorarbeiten angeboten. Gleichzeitig erlaubten das offen gehaltene Programm und der geeignete Veranstaltungsort einen freien und ungezwungenen Austausch zwischen den Teilnehmern.



Abbildung 44: Mitarbeiter des elenia während des 1. NFF-Doktorandentags (v.l.n.r.: Jan Bellin, Uwe Westerhoff, Ole Binder, Daniel Hauck)

Figure 44: elenia staff at the 1. “NFF-Doktorandentag”

## **First “NFF-Doktorandentag”**

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

This year the first doctoral student congress of the “Niedersächsisches Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik” (NFF) was held at the „Mobile Life Campus“ in Wolfsburg. It is the first of a series of doctoral student congresses organized by the NFF every two years. More than 50 doctoral candidates, various research projects as well as extracurricular student initiatives presented their latest work to the audience.

Being a member of the NFF, the elenia also presented its work at the stand of the „Battery Lab Factory (BLB)“ and by exhibiting three posters in the field of electro mobility. Following a welcome speech, two guided tours presented the audience with short lectures on those doctoral theses about to be finished. Aside from these tours the event schedule as well as the very suitable event location encouraged autonomous discussions and exchange on scientific matters.

## 5 Veröffentlichungen und Medienberichte

### 5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications

- 1) M. Kurrat, Smart Grid, DVGW Fachtagung, 13. Februar 2013, Hannover
- 2) B. Engel, Smart Grid, DVGW Fachtagung, 14. Februar 2013, Hamburg
- 3) M. Kurrat, T. Kumm, FNN Aktivitäten zur verbesserten Integration dezentraler Erzeugungsanlagen in die Netze, TAB Fachforum, 27.-28. Februar 2013, Bremen
- 4) M. Kurrat, Aktuelles aus Forschung und Wissenschaft zum Schwerpunktthema „DC“, Labor-Erfahrungsaustausch akkreditierter Laboratorien, IPH Berlin, 06. März 2013
- 5) H.P. Beck, B. Engel, F. Funck, D. Unger (et. al.), Studie: Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Abschlussbericht 8. März 2013  
*Erschienen auch als:*  
Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen Band 13 "Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit" von EFZN-Arbeitsgruppe Energiespeicher – Culliver Verlag Göttingen ISBN 978-3-95404-439-9
- 6) A. Dammasch, B. Engel, Netzsystemdienstleistungen von Erneuerbaren Energien - Geschäftsmodell oder Netzanschlussbedingung?, 13. März 2013, 2. Energiekongress, Saarbrücken
- 7) U. Westerhoff, M. Kurrat, Best practice equivalent circuit model using Li-ion cell construction kit, Kraftwerk Batterie, 26. - 27.03.2013, Aachen
- 8) E.-D. Wilkening, et. al. HVDC Grid Feasibility Study. In: CIGRE technical brochure No. 533, 2013
- 9) F. Marra, G. Y. Yang, , Y. T. Fawzy, C. Træholt, E. Larsen, R. Garcia-Valle, M. Møller Jensen “Improvement of Local Voltage in Feeders With Photovoltaic Using Electric Vehicles”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. PP, No. 99, Mar. 2013
- 10) P. Gronstedt, B. Engel, Grid-Integration of Distributed and Renewable Energy Resources using a Virtual Pool Approach with a Multiple Business Strategy, 22.04. – 24.04.2013, CIGRE, Lisbon
- 11) O. Binder, J. Meisner, M. Kurrat, Elimination of Signal Time Delays for Precise IGBT Switching Loss Measurement, PCIM Europe, Nürnberg 2013
- 12) M. Finkel, A. Gerblinger, M. Wiest, B. Engel, Germans transition towards renewable energy supply - a systems thinking approach. Paper 384, 22nd International Conference on Electricity Distribution CIRED 2013, Stockholm, 10.-13.6.2013

- 13) D. Unger, N. Hemdan, M. Kurrat, Reactive Power Concepts in the Future Distribution Networks, 10. – 13.06.2013, Stockholm
- 14) M. Hilbert, M. Siemers, A. Pflug, M. Kurrat, PIC-MC Simulations for Microplasma-propagation in Multiple Cavity Arrangements at Atmospheric Pressure Conditions, XXXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 14.-19.07.2013, Granada, Spanien
- 15) B.Schottel, M.Kurrat, Experimental investigation of short-time arc-wall interaction by different geometries of narrow gaps, XXXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 14.-19.07.2013, Granada, Spanien
- 16) I.Gramberg, D.Gentsch, M.Kurrat, Investigations of Copper Chrome Coatings on Vacuum Circuit Breaker Ceramics by Electron Probe Microanalysis and Electric Field Simulation, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 41, No. 8, August, 2013
- 17) V. Ermel, J. Meisner, M. Kurrat, M. Kahmann, Adaptive Acquisition of Power IGBT Transients With Discrimination Circuit, Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, On page(s): 2364 - 2371 Volume: 62, Issue: 9, Sept. 2013
- 18) H. Köpf, E.-D. Wilkening, M. Kurrat, Untersuchungen unterschiedlicher Schaltgeräte für den Einsatz in Hochvolt-DC-Bordnetzen, 09-11 September 2013, 22 AKK Karlsruhe
- 19) J. Rütter, M.Lindmayer, M. Kurrat, T.Schrank, Vereinfachte Strömungssimulation von Niederspannungslichtbögen im Vergleich mit Messungen, 09-11 September 2013, 22 AKK Karlsruhe
- 20) A. Dammasch, B. Engel, Reduzierung von Ausgleichsenergiekosten mittels eines virtuellen Kraftwerks bestehend aus Blockheizkraftwerken, 12.-13. September 2013, NEIS Konferenz 2013, Hamburg
- 21) M. Blaz, M. Kurrat, Discharge mechanisms in liquid nitrogen with thermally induced gas bubbles, 15.-19. September 2013, EUCAS, Genua
- 22) F. Soyck, F. Funck, B. Engel, A New Multidirectional Meter Concept for Opening Local Private PV Storage Systems to Third Party Contractors, 30.09. – 04.10.2013, PVSEC, Paris
- 23) C. Dierckxsens, K. De Brabandere, O. Gammoh, B. Bletterie, W. Deprez, Y. T. Fawzy, B. Uljanić, B. Blazic, A. Woyte “Inverter-Based Voltage Control with Reactive Power”, 3rd International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems in London, England, October 2013
- 24) M. Bunk, H. Loges, B. Engel, Technisch-Wirtschaftliche Betrachtung von Spannungsstabilisierungsmaßnahmen in Niederspannungsverteilnetzen, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 25) A. Dammasch, B. Engel, Reducing the use of compensation energy in a balancing group using a virtual power plant, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin

- 26) M. Kurrat, B. Engel, W. R. Canders, M. Henke, W. Schumacher, N. Hemdan, Technische Herausforderungen für die Lieferung von Systemdienstleistungen durch dezentrale Erzeuger in aktiven Verteilungsnetzen, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 27) S. Laudahn, B. Engel, T. Bülo, H. Knopf, M. Victor, G. Bettenwort, V. Sakschewski, J. Jahn, Einfluss aktiver Inselnetzerkennung mittels Frequenz-Shift auf den Netzschutz und die Netzstabilität, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 28) J. Mummel, M. Kurrat, U. Karges, Analyse der Netzückwirkungen von diversifizierten Fahrzeugflotten, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 29) F. Soyck, S. Laudahn, B. Engel, Aktive Spannungsstützung beim Laden von Elektrofahrzeugen mit großer Leistung, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 30) D. Unger, N. Hemdan, B. Engel, M. Kurrat, Einsatzstrategien für dezentrale Erzeugungsanlagen zur Blindleistungskompensation oder -bereitstellung aus dem Verteilnetz, 5.-6. November 2013, ETG Kongress, Berlin
- 31) M. Hilbert, M. Siemers, A. Pflug, M. Kurrat, PIC-MC Simulationen zur Untersuchung der Mikroplasmaausbreitung entlang von Hohlraumgrenzflächen unter Atmosphärendruck, 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, 12. - 13.11.2013, Dresden
- 32) N. Hill, M. Kurrat, Untersuchung des Einflusses einer Gasschicht auf der Elektrodenoberfläche auf die Durchschlagspannung in flüssigem Stickstoff, 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, 12. - 13.11.2013, Dresden
- 33) Y. T. Fawzy, B. Bletterie, W. Deprez, T. Buelo, G. Bettenwort, B. Engel “New strategies for coordinated control in power distribution grids-effective integration of photovoltaic plants utilizing sensitivity analysis”, UPEC 2013, Dublin, Ireland, IEEE indexed
- 34) B. Engel; B. Ernst, Solarwechselrichter als Schnittstelle zum Netz. Seite 15-22, OTTI-Fachforum „Netzanschluss von PV-Anlagen“ 18.-19. November 2013, Kassel
- 35) P. Heck, J. Bellin, M. Matousek, S. Wonneberger, O. Sychrovsky, R. Sara, M. Maurer, Collision Mitigation for Crossing Traffic in Urban Scenarios, IV 2013, Gold Coast, Australia
- 36) B. Engel, Netzdienliche Speicher bei PV-Anlagen nach dem KfW-Marktanreizprogramm. FNN Fachkongress Netztechnik, 4.-5.12.2013, Nürnberg
- 37) F. Funck, F. Soyck Verfahren und Vorrichtungen zur Erzeugung von Zählpunktsignalen, Aktenzeichen 10 2013 003 367.5, Patentantrag eingereicht am 01.03.2013
- 38) B. Engel Netzsystemdienstleistungen zwischen Pflicht und Kür- Geschäftsmodell oder Netzanschlussbedingung?, Tagung Smart Grid im Norden, 19. Juni 2013, Hannover

## 5.2 Berichte in den Medien - News

*Als Cora zum Struwelpeter wurde*  
10.12.2012, Braunschweiger Zeitung

*Strom speichern in der Energy Cloud*  
08.01.2013, Weser-ems.businesson.de

*EWE entwickelt virtuellen Großspeicher*  
09.01.2013, e21.info

*EWE auf der Suche nach der Energie-Speicher-Cloud*  
09.01.2013, energate Messenger

*Strom speichern in der Cloud*  
13.01.2013, sonnenseite.com

*Ein bisschen Guerilla ist gut*  
02.2013, pv magazine

*Autos werden Schwarmbatterie*  
31.05.2013, Braunschweiger Zeitung

*Erster Elektro-Bus surrt durch Braunschweig (\*)*  
10.09.2013, NDR Niedersachsen

*Bombardier Begins Operation of the First Inductive High Power Charging Station for PRIMOVE Electric Buses (\*)*  
10.09.2013, Wall Street Online

*Woher kommt das Licht?*  
10.08.2013, Braunschweiger Zeitung

*Darum steigt die EEG-Umlage*  
16.10.2013, Braunschweiger Zeitung

*Induktive Ladung von Elektro-Linienbussen in Braunschweig (\*)*  
11-2013, Nahverkehrs-praxis

*Sonnen-Atlas für jedes Haus in der Region*  
14.11.2013, Braunschweiger Zeitung

---

(\*) Das Projekt PRIMOVE [auch unter dem Namen „emil“ (Elektromobilität mittels induktiver Ladung) bekannt] fand weltweit Erwähnung in 7 TV- und Radio-Sendungen und 31 Print- und Online-Magazinen. Mehr Informationen über emil auf Seite 38.

---

(\*) Project PRIMOVE [aka "emil" (electric mobility via inductive charging)] was mentioned worldwide in 7 tv- and radio-programs and 31 print- und online-articles. More information about emil on page 38.

