



Technische  
Universität  
Braunschweig

elenia

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



90 Jahre Hochspannungstechnik an der TU Braunschweig 1925 - 2015

# Jahresbericht 2015

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen  
- elenia

# **Jahresbericht 2015**



## 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>14</b>
2.1 Vorlesungen und Praktika – Lectures and Laboratories .....	14
2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects .....	21
2.3 Diplomarbeiten – Diploma Theses .....	22
2.4 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses .....	22
2.5 Masterarbeiten – Master Theses .....	25
<b>3 Berichte aus Forschung und Entwicklung – Abstracts on Research Projects ..</b>	<b>27</b>
3.1 Anlagentechnik – Electrical Power Systems .....	29
3.2 Batterietechnik – Battery Technology .....	40
3.3 Energiemanagement – Energy Management .....	47
3.4 Hochspannungstechnik – High Voltage Technology.....	68
3.5 Marktintegration – Market Integration .....	78
3.6 Netzintegration – Grid Integration .....	84
3.7 Dissertationen – Dissertations.....	99
<b>4 Besondere Ereignisse 2015 – Special Events 2015 .....</b>	<b>103</b>
4.1 Kalender der besonderen Ereignisse – Calendar of Special Events .....	103
4.2 Berichte von besonderen Ereignissen – Reports on Special Events .....	115
<b>5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News .....</b>	<b>124</b>
5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications .....	124

5.2 Berichte in den Medien – News ..... 129

Liebe Freunde des Instituts,

vor 90 Jahren wurde das Hochspannungsinstitut der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig gegründet. Am 19. September haben wir dies im Kreise von über 120 Ehemaligen, Freunden und Partnern mit einem Festkolloquium gebührend gefeiert. Vielen Dank allen Teilnehmern, den unterstützenden Firmen und den Überbringern der Grußworte aus dem Präsidium und dem VDE-Bezirksverein.

Es war eine willkommene Gelegenheit für einen Rückblick auf die sehr erfolgreiche Forschungsarbeit und Lehrtätigkeit des Instituts. Wir wollen uns dafür bei allen ehemaligen Mitarbeitern in Wissenschaft, Technik und Verwaltung, allen Lehrbeauftragten und allen Professoren ganz besonders herzlichen bedanken. Im Sinne der Nachhaltigkeit durften wir ernten, was unsere Vorgänger gesät und bestellt hatten. So wurden in den Festvorträgen vom Lichtbogen-Stromrichter für die HGÜ, der Hochspannungs-Messtechnik und der Isolierstoffforschung ausführlich berichtet. Gebiete, die wir durch modernste Schnellfilm-Kameraaufnahmen, Simulationen und Messtechnik in den Bereichen HGÜ, Hochtemperatur-Supraleiter, Mikroplasma oder Vakuumschalter voranbringen. Ganz besondere Aufmerksamkeit widmen wir dem Thema DC-Systeme und -Komponenten in ihrer Vielfalt.

Aber auch die Lehre kam nicht zu kurz. Musste Prof. Erwin Marx zu Beginn noch sechs Grundlagen-Vorlesung ins Leben rufen, so waren es in den 60er Jahren bereits zehn Fach-Vorlesungen und durch die rasante Entwicklung in den letzten Jahren sind wiederum neun zusätzliche Vorlesungen dazugekommen. Ohne unsere Lehrbeauftragten würden wir dieses Pensum nicht schaffen. Umso betrübter sind wir über den Weggang unseres Lehrbeauftragten Dr. Hartmut Knobloch. In den letzten zehn Jahren hat er den Studierenden das 1x1 des Managements beigebracht.

Ebenfalls verabschieden wir uns mit großem Dank von unserem Werkstattmitarbeiter Herrn Klaus-Dieter Kozowsky, der nach über 40 Jahren in den wohlverdienten Ruhestand geht. Neu hinzugekommen ist in unserer Werkstatt Frau Julia Musebrink, die wir herzlich begrüßen. Und mit einem Lehrauftrag für die Übertragungsnetze startet Herr Dr. Christian Schulz wieder bei uns.

Für weitere Informationen zur Institutsgeschichte empfehlen wir einen Besuch unserer neugestalteten Homepage.

Zur aktuellen Forschung, die wir im vorliegenden Institutsbericht nachfolgend detailliert vorstellen: In drei Forschungsschwerpunkten arbeiten ca. 40 wissenschaftlichen Mitarbeiter zusammen. Die Kurzberichte der wissenschaftlichen Mitarbeiter sind nach den sechs Forscher-

gruppen Anlagentechnik, Batterietechnik, Energiemanagement, Hochspannungstechnik, Marktintegration und Netzintegration geordnet.

Auch im abgelaufenen Jahr hat sich das elenia bei Forschung und Lehre für die Energie- und Mobilitätswende verstärkt engagiert. Besonders hervorzuheben ist die Eröffnung der „Battery LabFactory Braunschweig“ (BLB) mit der niedersächsischen Wissenschaftsministerin Gabriele Heinen-Kljajić. Zudem fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Projektes „elenia energy labs“ die Forschungsinfrastruktur am elenia mit einem Budget von fast einer Million Euro. Mit dieser Unterstützung kann das bisherige Netzintegrationslabor zu Laboratorien für Netzdynamik sowie für Energiemanagement im Smart-Building erweitert werden. Ein wichtiger Baustein dieser Laboratorien ist die Installation einer flexibel konfigurierbaren Photovoltaikanlage auf dem modern renovierten alten Heizhaus.

Das Interesse der Studierenden an der TU Braunschweig, an Studiengängen der Fakultät und an Lehrveranstaltungen und Tätigkeiten am Institut sind auf Rekordniveau. Ein wichtiger Meilenstein war die Akkreditierung des Masterstudiengangs „Elektromobilität“, so dass jetzt schon 21 Studenten diesen innovativen interdisziplinären Studiengang wählen konnten. Die elektrische Energietechnik ist in Zeiten der Energiewende so spannend wie in der Pionierzeit vor 90 Jahren mit vielen neuen Themen und somit hochattraktiv für Studierende.

In 2016 planen wir das inzwischen dritte energietechnische Symposium am elenia, bei dem Partner aus aktuellen Forschungskoperationen berichten. Bitte reservieren Sie sich jetzt schon einmal den 07. Oktober 2016.

Mit dem Wunsch für ein gutes und erfolgreiches Jahr 2016 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 2015



Michael Kurrat



Bernd Engel

Dear Friends of the elenia,

90 years ago, the Department for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) of the University of Braunschweig – Institute of Technology was founded. On September 19, we celebrated together with more than 120 alumni, friends and partners. Many thanks to all participants and the sponsoring companies as well as to the president of our university and the VDE for their greetings.

This event was a great opportunity to look back on our successful research work and teaching activities. We would like to thank especially our former research assistants, alumni from our mechanical workshop and administration, as well as all lecturers and professors. In terms of sustainability, we are proud to advance in many research areas that have been started by our predecessors. For example, HVDC, high voltage measurement or insulating materials technology are supported by film cameras with high resolutions, simulations, high temperature superconductors, or vacuum switches. Particularly DC systems and components are given a high attention.

The development of the classes has progressed as well. While Prof. Erwin Marx initiated six basic lectures, which turned into ten lectures in the 60s, we are even offering nine additional classes today. This would not be possible without our external teachers. In this context we are very sad about Dr. Hartmut Knobloch leaving the elenia.

We also thank and say goodbye to Klaus-Dieter Kozowsky from our mechanical workshop, who is retiring after more than 40 years of work. However, we welcome our new workshop employee Julia Musebrink. As a new lecturer Dr. Christian Schulz is teaching in the area of transmission grids from this year on.

Additional information about elenia's history can be found on our new designed website.

Current research topics can be found in detail on the next pages. In 2015, circa 40 research assistants have been working together in three large research areas. The following contributions are arranged by these six research groups, which are Electrical Power Systems, Battery Technology, Energy Management, High Voltage Technology, Market Integration and Grid Integration.

In the past year, the elenia has been very active in research and teaching in the context of the transition of the energy and mobility system. Two highlights are the opening of the "Battery LabFactory Braunschweig" (BLB) with the Minister of Science from Lower Saxony, Gabriele Heinen-Kljajić, and the funding of elenia's research laboratories by the Federal Min-



istry of Economic Affairs and Energy. The existing labs will be extended and advanced using a funding budget of approximately 1 million Euro. Not only the previous lab for grid integration will be divided into the laboratory for grid dynamics and the laboratory for energy management in smart buildings. An important element is the installation and integration of a flexibly configurable photovoltaic system.

The interest of students of the University of Braunschweig – Institute of Technology, the faculty and the elenia is on a very high level. An important milestone was the accreditation of the innovative and interdisciplinary Master's program "electromobility" which has already been chosen by 21 students. The electrical energy technology is as exciting as 90 years ago with many new issues and, thus, highly attractive to students.

In 2016 we are planning the third Symposium of Electrical Engineering where partners from current research collaborations are reporting from their work. Please save the following date: October 07, 2016.

Finally, we would like to thank you, our business and research partners, our external lecturers, the “Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)”, the project managements, the Federal Ministries, the Volkswagen Foundation and the Ministry for Science and Culture from Lower Saxony, for your great support on our work.

Best wishes for a happy and successful year 2016!

Braunschweig, December 2015



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 Dr.-Ing. Gunnar Bärwaldt, Braunschweig Dr.-Ing. Christian Schulz
Akademischer Oberrat:	Dr.-Ing. Ernst-Dieter Wilkening
Geschäftsstelle:	Jacqueline Schmidt Petra Thiele Michelle Klages
Schwerpunkte (SP):	<i>Komponenten der Energieversorgung</i> Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (SP-Mentor) Dipl.-Ing. Ole Binder (SP-Leiter)  <i>Aktives Verteilnetz</i> Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (SP-Mentor) Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck (SP-Leiterin)  <i>Elektromobilität</i> Dr.-Ing. Frank Lienesch (SP-Mentor, PTB) Uwe Westerhoff, M.Sc. (SP-Leiter)

AG Energiesysteme	Prof. Dr.-Ing.	Bernd Engel (wiss. Betreuung)
	Dr.-Ing.	Arne Dammasch (AG-Leiter)
	Dr.-Ing.	Marcus Bunk
	M.Sc.	Stephan Diekmann
	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Franziska Lobas-Funck
	Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH)	Raphael Hollinger M.Sc., M.Eng. (ext. Doktorand, Fraunhofer ISE)
	Dipl.-Ing.	Stefanie Koch
	M.Sc.	Hartmudt Köppe
	M.Sc.	Stefan Laudahn
	M.Sc.	Hauke Loges
	M.Sc.	Ole Marggraf
	M.Sc.	Maria Nuschke (ext. Doktorandin, Fraunhofer IWES)
	M.Sc.	Björn Osterkamp
	M.Sc.	Christian Reinhold
	M.Sc.	Florian Schilling (ext. Doktorand, PTB)
	M.Sc.	Julia Seidel
	Dipl.-Ing. (FH)	Frank Soyck M.Eng
	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Daniel Unger
	M.Sc.	Michael Wiest (ext. Doktorand, Hochschule Augsburg)
	B.Sc.	Sebastian Wermuth
	Dipl.-Ing.	Jonas Wussow

AG Energietechnologien	Prof. Dr.-Ing.	Michael Kurrat (wiss. Betreuung)
	Dr.-Ing.	Michael Hilbert (AG-Leiter)
	Dipl.-Ing.	Jan Bellin (ext. Doktorand, VW)
	Dipl.-Ing.	Ole Binder
	M.Sc.	Dirk Bösche
	Dipl.-Math.tech.	Frithjof Fehsenfeld (ext. Doktorand, FH Hannover)
	Dipl.-Ing.	Daniel Hauck (ext. Doktorand, PTB)
	Dr.-Ing.	Nasser Hemdan
	Dipl.-Ing.	Nicholas Hill
	Dipl.-Phys.	Mathias Kammerlocher (ext. Doktorand, VW)
	M.Sc.	Christoph Klosinski
	Dipl.-Ing.	Hendrik-Christian Köpf
	Dipl.-Ing.	Tobias Hartmut Kopp
	M.Sc.	Benjamin Kühn
	M.Sc.	Kerstin Kurbach
	M.Sc.	Jan Mummel
	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Benjamin Munzel
	M.Sc.	Fridolin Muuß
	M.Sc.	Tobias Pieniak
	M.Sc.	Tobias Runge
	M.Sc.	Christian Sander (ext. Doktorand, Phoenix Contact)
	Dipl.-Ing.	Carola Schierding
	M.Sc.	Lorenz Soleymani
	M.Sc.	Uwe Westerhoff
	Dr.-Ing.	Ernst-Dieter Wilkening

Mechanische Werkstatt: Kerstin Rach (Werkstattleiterin)  
Stefanie Adamski (Auszubildende, Werkstatt)  
Frank Haake  
Reinhard Meyer  
Julia Musebrink  
Vincent Winkler (Auszubildender, Werkstatt)

Elektrische Werkstatt: Christian Ryll  
Bernhard Wedler

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2015 ausgeschieden:

Am 31.05.2015 Klaus Kozowsky  
Am 13.11.2015 Daniel Hauck  
Am 31.12.2015 Benjamin Munzel

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2015 neu hinzugekommen:

Am 01.01.2015 Dirk Bösche  
Am 01.02.2015 Hartmut Köppe  
Am 01.02.2015 Julia Musebrink  
Am 01.02.2015 Carola Schierding  
Am 01.03.2015 Sebastian Wermuth  
Am 01.04.2015 Christian Reinhold

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2015 tätig:

Adler, Philipp	Kleemiß, Hendrik	Schwerdtfeger, Jan Martin
Argirusis, Nikolaos	Klefer, Carina	Shiyanov, Denis
Ballard, Alexey	Klippert, Mark	Sinnigen, Markus
Born, Maria Joanna	Kue Mouoffo, Guy Cedrick	Spille, Sonja
Braun, Gerrit	Kurt, Osman Can	Spoehr, Alexander
Brodale, Ricardo	Lehnberg, Philip	Stocklossa, Timo
Brümmer, Vanessa	Lippold, Florian	Stolz, Dominik
Debbling, Christina	Loof, Sebastian	Thienemann, Christian
Di Modica, Gian-Luca	Lubiniecki, Toni	Untiedt, Markus
Djieya K., Alban Thibaut	Maiberg, Christian	Weege, Henning
Englich, Christoph	Mank, Carsten	Wehmeyer, Hendrik
Fiebig, Gina	Matern, Marius	Weidemann, Daniel
Freitag, Patrick	Meier, Robin Thorben	Wellert, Tobias
Frickemeier, Mira	Meyer, Sören	Wermuth, Sebastian
Geilert, Felix	Niewind, Julia	Wierzbowski, Adrian
Gellrich, Sebastian	Petersdorf, Frank	Wijtenburg, Johannes W.
Gitin, Ilja	Pierri, Erika	Wünsch, Martin
Goebel, Adrian	Preißler, Anne	
Gräfer, Nils	Rathing, Matthias	
Guljakow, Jürgen	Reinhold, Christian	
Haage, Timo	Rewald, Florian	
Hahne, Julian	Ries, Jonathan	
Hanisch, Stefan	Ross, Patrick	
Hankers, Robert	Roth, Dominic	
Helm, Stefan	Saitow, Viktor	
Hickisch, Timo	Schilling, Dennis	
Hoppe, Stefan	Schlenker, Uwe	
Hugo, Marvin	Schrader, Robin	
Ismar, Fabian	Schrödter, Thomas	
Jin, Hui	Schulte, Thomas	

## 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	WiSe 15/16
Elektrotechnik 1 für Maschinenbau	Prof. Engel	WiSe 15/16
Elektrotechnik 2 für Maschinenbau	Prof. Engel	SoSe 15
Elektrische Bahnen	Prof. Engel	SoSe 15
Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen	Prof. Engel	SoSe 15
Elektrische Energieanlagen I	Dr. Wilkening	WiSe 15/16
Elektrische Energieanlagen II	Dr. Wilkening	SoSe 15
Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke	Dr. Waitschat	WiSe 15/16
Energiewirtschaft im Wandel	Dr. Bärwaldt	SoSe 15
Gleichstrom- und Speichersysteme	Prof. Kurrat	SoSe 15
Grundlagen der elektrischen Energietechnik	Prof. Kurrat	SoSe 15
Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure	Prof. Kurrat	WiSe 15/16
Hochspannungstechnik I	Prof. Kurrat	WiSe 15/16
Hochspannungstechnik II	Prof. Kurrat	SoSe 15
Innovative Energiesysteme	Prof. Engel	SoSe 15
Managementmethoden für Ingenieure	Dr. Knobloch	WiSe 15/16
Numerische Berechnungsverfahren	Prof. Kurrat	WiSe 15/16
Systemtechnik in der Photovoltaik	Prof. Engel	WiSe 15/16
Technologien der Verteilungsnetze	Prof. Engel	SoSe 15
Technologien der Übertragungsnetze	Prof. Kurrat	WiSe 15/16
<b>Praktika</b>		
Innovative Energiesysteme - Praktikum	Prof. Engel	SoSe 15
Numerische Berechnungsverfahren – Rechnerpraktikum	Prof. Kurrat	SoSe 15
Praktikum Netzberechnung	Prof. Engel	SoSe 15 WiSe 15/16
Hochspannungstechnik – Praktikum	Prof. Kurrat	WiSe 15/16
Energietechnisches Kolloquium	Prof. Kurrat, Prof. Engel	SoSe 15 WiSe 15/16

**e-Learning Dezentrale Energiesysteme**

(WiSe 15/16) 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 die 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)**

(WiSe 15/16) 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)**

(SoSe 15) 2 V, 1 Ü

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

**Elektrische Bahnen**

(SoSe 15) 3 V, 1 Ü

Repetitorium Elektrotechnik • Bahnstromversorgung • Traktionsmechanik • Elektrische Traktion • Bremsen • Hilfsbetriebe • Signal- und Sicherungssysteme • Leittechnik • Fahrgastinformation • Ausgeführte Fahrzeuge • Zukünftige Entwicklungen • elektrische Oberleitungs- und Batteriebusse

**Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen**

(SoSe 15) 1 V

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

**Elektrische Energieanlagen I**

(WiSe 15/16) 2 V, 2 Ü

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

---

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



**Elektrische Energieanlagen II (und Lichtbogenplasmen)** (WiSe 15/16) 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

**Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke** (WiSe 15/16) 2 V, 2 Ü

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

**Energiewirtschaft im Wandel - Auswirkungen der Liberalisierung** (SoSe 15) 3 V, 1 Ü

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

**Gleichstrom- und Speichersysteme** (SoSe 15) 3 V, 1 Ü

Im Rahmen der Vorlesung werden Grundkenntnisse über den Aufbau und die Funktion von Gleichstrom- und Speichersystemen übermittelt.

Übertragungsnetze mit HVDC • Stadt der Zukunft mit LVDC • Ladeinfrastruktur • Kfz-Bordnetze • Speicher und Batteriesysteme • Batteriespeicher Diagnostik • Batteriespeicher Alterung • Batteriespeicher Recycling

**Grundlagen der elektrischen Energietechnik<sup>2</sup> (Bachelor)** (SoSe 15) 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 Energieerzeugung

**Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure (Bachelor)** (WiSe 15/16) 2 V, 2 Ü

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

---

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

### **Hochspannungstechnik I (u. Gasentladungsplasmen)**

(WiSe 15/16) 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 • Entstehung von Überspannungen: Gewitterentstehung, Blitzschutz, äußere und innere Überspannungen • Wanderwellenphänomene: TEM-Welle, Transmission und Reflexion, Wellenersatzschaltbild, Mehrfachreflexion • Sicherheitsvorschriften • Grundprinzipien von Isoliersystemen • Gasförmige, flüssige und feste Isoliersysteme • Elektrische Festigkeit: Gasdurchschlag, Teilentladungen, Durchschlag in flüssigen und festen Isolierstoffen

### **Hochspannungstechnik II**

(SoSe 15) 3V, 1 Ü

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

Übersicht zur Erzeugung hoher Spannungen im Prüffeld • Beschreibung und Berechnung von Systemen zur Messung hoher Spannungen im Prüffeld • Überblick zur Erzeugung hoher Stoß- und Kurzzeitströme im Prüffeld • Grundlagen der Strommesstechnik • Einführung in die Teilentladungsmesstechnik •

Darstellung von Prüfungen unter Berücksichtigung erschwerter Umweltbedingungen • Einführung in die Sicherheitsbestimmungen beim Betrieb von Anlagen

### **Innovative Energiesysteme**

(SoSe 15) 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**

(WiSe 15/16) 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**

(WiSe 15/16) 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

**Systemtechnik in der Photovoltaik**

(WiSe 15/16) 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 und PV-Speichersysteme.

**Technologien der Verteilungsnetze (Bachelor)**

(SoSe 15) 2 V, 2 Ü

In dieser Vorlesung werden die Struktur der Verteilungsnetze und ihre Weiterentwicklung erklärt. Weitere Inhalte sind:

- Verteilnetze in der Energieversorgung • Netzstrukturen • Betriebsmittel • Schutzkonzepte • Systemdienstleistungen • Netzentgelte

**Technologien der Übertragungsnetze (Bachelor)**

(WiSe 15/16) 3 V, 1 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen:

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

## Studienseminare – Student Lectures

*Ole Marggraf, M.Sc.*

### WS 2014/2015 „elenia – Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik – Trends“

Im Wintersemester 2014/2015 fanden insgesamt 27 Vorträge zum Thema „Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik - Trends“ im Haus der Wissenschaft, Raum Veolia statt. Aufgrund der großen Anzahl an Vorträgen wurde die Veranstaltung auf die zwei Tage 27.01.2015 und 03.02.2015 aufgeteilt.

#### Tag 1

Jarno Wijtenburg	Welche Komponenten benötigt eine AC- und eine DC-Ladestation
Yichao Ding	Eigenschaften von elektrischen Batteriekontakten
Dennis Altmann	Test und Wartung von HV-Komponenten aus E-Fahrzeugen
Carsten Mank	Anforderungen an HV-Bordnetzkomponenten für den Einsatz in Second-Life-Anwendungen
Viktor Saitow	Überblick von Alterungsprozessen bei Lithium-Ionen-Batterien
Daniel Urbschat	Möglichkeiten der Ladezustandsschätzung von Lithium-Ionen-Batterien
Jonathan Ries	Aktuelle Anwendungen von Batteriespeichersystemen im Netz
Michael Schweins	DC Grids: Possibilities and Challenges
Carsten Hoppert	Smart Home aus dem Katalog
Marc Fink	BHKW + Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern: Konkurrenzsystem oder sinnvolle Kombination?
Oliver Thiel	Geschichte der Blitzforschung
Julian Hahne	Anwendungsgebiete von Flüssigstickstoff
Sina Laki	Supraleitende Kabel

#### Tag 2

Sascha Wolff	Aktuelle Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Marktes
Hans-Jakob Droese	Chancen und Herausforderungen für Niederspannungsgleichstromsysteme
Aidar Assainov	DC-Störlichtbögen in Schaltschränken
Hu Gaojun	Vermiedene Netzentgelte im Kontext der Energiewende
Qi Xu	Der Einfluss von Eigenverbrauch auf Stromkosten
Markus Untiedt	Residential PV-Speichersysteme – was ist aktuell am Markt verfügbar?

Tianyi Lu	Stationäre Bahnstromversorgung von Gleichstrombahnen
Vincent Günzel	Das Potenzial von Wärmepumpen zum Lastmanagement im Strommarkt
Ali Soltani	Auswirkungen von direkten Blitzeinschlägen in Solar- und Windkraftanlagen
Huifeng Zhou	Die Paschenkurve: Durchschlagsmechanismen bei verschiedenen Gasdrücken
Hendrik Wehmeyer	Technologien zur Spannungshaltung in Verteilnetzen
Mark Hoyer	Bildung der SEI-Schicht bei Lithium-Ionen-Batterien
Nils-Erik Schäfer	Vergleich internationaler Fahrzyklen im Fokus der Elektromobilität
Simon Köster	Überblick aktueller Elektroautos (PHEV&BEV) ausgewählter Automobilhersteller

*Ole Marggraf, M.Sc.*

*SoSe 2015 „elenia – Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik – Trends“*

Im Sommersemester 2015 musste eine Limitierung der maximalen Anzahl an Vorträgen auf 20 eingeführt werden, da die Veranstaltung nur noch schwer durchführbar war. Die Veranstaltung fand an den Tagen 08.07.2015 und 14.07.2015 statt.

*Tag 1*

Marissa Johanna Schulz	Thermoelektrische Modellierung von elektrischen Kontakten
Gian-Luca Di Modica	Vergleich gängiger Lithium-Ionen- und Post-Lithium-Ionen-Technologien
Marius Temming	Messen der elektrischen Leitfähigkeit im Lichtbogen
Fatos Citaku	Ansteuerungs- und Schutzkonzepte MOS-gesteuerter Leistungshalbleiter
Stephan Passon	Rückführung von HVDC Spannungsteilern
Julia Koop	Einführung in die thermografische Messtechnik
Qianghan Zeng	Vakuumschalten in höheren Netzspannungsebenen – Die verschiedenen Phasen des Schaltvorgangs
Karen Flügel	Arten von Blindleistungskompensationseinrichtungen
Timo Stocklossa	Was kann ich durch Eigenerzeugung sparen? Vergleich der Entwicklung der Stromgestehungskosten bei Eigenerzeugung gegenüber dem Stromzukauf
Lukas Hartjen	Big Data in der Energiewirtschaft

Tag 2

Dominic Roth	Osmosekraftwerk – Konzept der Zukunft?
Stefan Helm	Können BHKWs im Sommer zur Netzstabilität beitragen? (Wo- hin mit der Wärme?)
Okan Özdemir	Flexibilitätsoptionen bei Biogasanlagen
Robin Thorben Meier	Geschichte der Elektrifizierung Braunschweigs
Luca Torrisi	Entwicklung von Reserven und Ressourcen
Uwe Schlenker	Blackout bei Emsüberführung
Matthias Raisich	Auswirkungen der Sonnenfinsternis auf die Energiewirtschaft
Sina Shahani	Herausforderungen bei der Bereitstellung von Regelleistung auf Verteilnetzebene
Lukas Otte	Bewertung von Speicherverlusten
Liwen Zhang	Von Tesla bis heute – Entwicklung und Anwendung der indukti- ven Energieübertragung



Abbildung 1: Teilnehmer des Studienseminars im Wintersemester 2014/2015

Figure 1: Participants of the student lectures in winter 2014/2015

**2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects**

(Bearbeitungszeit 10 Wochen)

Natalia Goldmann	Konzepterstellung für einen Second-Life-Demonstrator mit Li-Ionen- Batterien ( <i>Westerhoff</i> )
Miro Klischewski	Unterstützung der Bereitstellung von Regelleistung aus Photovoltaik- anlagen durch Speicher ( <i>Seidel</i> )

Mohamed A. Moiz	Fault Ride-Through Capability Enhancement of Distributed Generation using Superconducting Fault Current Limiter ( <i>Hemdan</i> )
Pia Krug	Bewertung von Elektromobilitätskonzepten ( <i>Muuß</i> )
Anna-Lena Müller	Konzeptionierung lernender Last- und Erzeugungs-Prognosen im Umfeld eines Gebäudeenergiemanagements im Smart Home ( <i>Diekmann</i> )
Quirin Leiss	Potenzialanalyse von Abluftwärmepumpen in Wohngebäuden in Deutschland ( <i>Koch</i> )

### 2.3 Diplomarbeiten – Diploma Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Fabian Püschel	Zustandsbestimmung von unbekanntem Lithium-Ionen-Batteriezellen ( <i>Hauck</i> )
Hagen Polifka	Erstellung eines Profil-Generators zur Erzeugung synthetischer PV-Einspeiseprofile ( <i>Loges</i> )
Nils Kahlau	Ermittlung und Kostenanalyse von potentiellen weiteren Strecken für den Betrieb mit induktiv ladbaren Elektrobussen ( <i>Wussow</i> )
Christoph Stamprath	Bewertung von Sicherheitskonzepten bei E-Fahrzeugen am Beispiel des Regelwerks der "Formula Student Germany" ( <i>Bellin/Westerhoff</i> )

### 2.4 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate)

Frederik Tiedt	Erstellung einer Netzersatzlast ( <i>Laudahn</i> )
Malte Langner	Zukünftige Bereitstellung von Regelleistung unter Einbezug erneuerbarer Erzeugungsanlagen ( <i>Seidel</i> )
Anne Preißler	Energiemanagement im Umfeld deutscher Mehrfamilienhäuser – Situationsanalyse und Potentialabschätzung ( <i>Diekmann</i> )
Marius Matern	Untersuchung des Verhaltens des Prüfkreises während der Arbeitsprüfung der IEC 61643-11 ( <i>Kopp</i> )
Yannick Schubert	Weiterentwicklung des Regelleistungsmarktes zur Integration von erneuerbaren Energien ( <i>Seidel</i> )
Fabian Ismar	Entwicklung eines technisch-wirtschaftlichen Bewertungsmodells für den Vergleich von AC- und DC-Versorgungssystemen ( <i>Munzel</i> )
Flakë Bajraktari	Entwicklungen des nationalen und internationalen Energiemarkt-designs unter neuen Rahmenbedingungen ( <i>Osterkamp</i> )

---

Alexander Lührmann	Gemeinsame Nutzung dezentraler Energieanlagen im Rahmen eines Energiemanagements in Mehrfamilienhäusern ( <i>Diekmann</i> )
Raoul Kenfack	Optimierung und Automatisierung eines Aufheizprozesses von Vakuumrezipienten ( <i>Pieniak</i> )
Lukas Hartjen	Bewertung von Stromversorgungssystemen mit Wechsel- oder Gleichspannung hinsichtlich Sicherheitskriterien ( <i>Munzel</i> )
Markus Untiedt	Entwicklung und Vergleich von Optimierungsmodellen als Teil eines Energiemanagementsystems auf Haushaltsebene ( <i>Lobas-Funck</i> )
Tamara Kahmann	Entwicklung und Vergleich von Algorithmen zur netzdienlichen Speicherbetriebsweise ( <i>Lobas-Funck</i> )
Uwe Schlenker	Emulation einer Ladesäulensteuerung innerhalb eines Elektrofahrzeuges zur induktiven Ladung ( <i>Wussow</i> )
Alina Fetzer	Analyse von PV-Leistungsprognosen zur Optimierung der Regelleistungsbereitstellung ( <i>Seidel</i> )
Guan-Luca Di Modica	Aufbau einer Laborladesäule mit dazugehörigem Messaufbau ( <i>Wussow</i> )
Christoph Seffner	Energiekostenoptimierung mittels Energiemanagement und Eigenverbrauch im Umfeld deutscher Mehrfamilienhäuser ( <i>Diekmann</i> )
Oussama Ferhi	Physikalische Plasmasimulation für Funkenstreckenableiter unter genauer Betrachtung des Kommutierungsvorganges des Stromes vom Zündkreis auf die Funkenstrecke ( <i>Runge</i> )
Johannes Baur	Entwicklung eines Modells zur Dimensionierung eines Nur-Strom-Wohn-Quartiers ( <i>Diekmann</i> )
Sieko Finke	Erweiterung eines Leitstands zur informations- und kommunikationstechnischen (IKT)-Anbindung von Ladeinfrastruktur zum intelligenten Laden von Elektrofahrzeugen ( <i>Soleymani</i> )
Eike A. Gellermann	Protection Coordination in 24 V DC Grids ( <i>Hemdan</i> )
Michael Wessels	Konzeption für den sicheren Fortbetrieb von Umspann- und Schaltwerksanlagen bei Netzausfall ( <i>Muuß</i> )
Michael Tallen	Weiterentwicklung eines erlösmaximierenden Produktionsalgorithmus für Wasserstoff für die Elektromobilität ( <i>Muuß</i> )
Simon Telle	Bewertung der technischen sowie wirtschaftlichen Möglichkeiten und Herausforderungen des aktiven Blindleistungsmanagements ( <i>Muuß</i> )
Malte Stoebel	Testen und Bewerten von Blindleistungsregelstrategien im Mittel- und Hochspannungsnetz ( <i>Muuß</i> )



Inga Beyers	Symbiosebeitrag von Power-to-Gas- und PV-Systemen bei der Erbringung von Regelleistung ( <i>Muuß/Seidel</i> )
Alexander Spohr	Bestimmung des Durchgangswiderstandes einer Modellschaltgerätenordnung und Untersuchung der DC-Lichtbogenwanderung in einer Modellschaltkammer mit Löschblechgeometrie ( <i>Köpf</i> )
Felix Bismark	Analyse verschiedener Verschaltungsmöglichkeiten von Photovoltaik-Batteriespeichern im privaten Haushalt ( <i>Loges</i> )
Rebecca Steidle	Simulationsbasierte Analyse der Erbringung von Regelleistung durch einen Elektrofahrzeugpool ( <i>Loges</i> )
Luca Torrisi	Entwicklung eines Haushaltsprofilgenerators in MATLAB ( <i>Loges</i> )
Dirk Moos	Entwicklung eines Verfahrens zur Untersuchung von Speicherverlusten ( <i>Loges</i> )
Ilja Gitin	Thermografische Analyse von Kupferschmelzen in Grafitteiegeln zur Bestimmung des Emissionskoeffizienten ( <i>Pieniak</i> )
Alban T. D. Kammeni	Charakterisierung der elektrischen Widerstände von Lithium-Ionen Batteriemodulen ( <i>Hauck</i> )
Anna Weißenmayer	Analyse und Entwicklung eines Berechnungsmodells der EEG-Umlage ( <i>Unger</i> )
Dennis Altmann	Durchführung und Bewertung von Tiefentladeprozessen von Lithium-Ionen Batterien beim LithoRec-Batterierecycling ( <i>Hauck</i> )
Itziar López Mayayo	Characterization of differently produced electrodes for Lithium-Ion Batteries ( <i>Westerhoff</i> )
Mara Woermann	Konzepte Virtueller Kraftwerke zur Bewirtschaftung von mehrfach genutzten Speichern ( <i>Lobas-Funck</i> )
Jonas Jäger	Konzeptionierung des Energie-Abschaltmanagements in dem Motorenwerk Volkswagen Salzgitter nach §13 EnWG ( <i>Koch/Lobas-Funck</i> )
Michael Bunse	Untersuchung der Rahmenbedingungen einer Mehrfachnutzung von PV-Speichersystemen in Mehrfamilienhäusern ( <i>Soyck</i> )
Matthias Raisich	Messung und Auswertung von induktiven Ladevorgängen der emil-Busse in Braunschweig ( <i>Soyck</i> )

## 2.5 Masterarbeiten – Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Marvin Nebelsiek	Modellierung und Parametrierung eines Batterieersatzschaltbilds mit Constant-Phase-Elementen ( <i>Westerhoff</i> )
David Menke	Konzeption eines rahmenintegrierten Pedelec-Speichers ( <i>Westerhoff</i> )
Christian Reinhold	Ertüchtigung des Hochstrom-Gleichstromprüffeldes zur Entwicklung von Niederspannungs-DC-Schaltgeräten ( <i>Köpf</i> )
Stefan Nemeyer	Technisch-ökonomische Bewertung verschiedener Rollout-Szenarien intelligenter Messsysteme für das Gebiet der Netze BW ( <i>Lobas-Funck</i> )
Daniel Weidemann	Balancingkonzepte im Rahmen einer Weiterbildung ( <i>Westerhoff</i> )
Florian Lippold	Planung, Konstruktion und Umsetzung eines 24 V-Prüffeldes für Niederspannungsschaltgeräte ( <i>Klosinski</i> )
Hendrik Kleemiß	Analyse eines 110/20/6kV-Netzes und Entwicklung eines abgestimmten Schutzkonzeptes ( <i>Laudahn</i> )
Afshin Hassan Raeisi	Implementierung der DRT Methode zur Charakterisierung von elektrochemischen Impedanzspektren von Li-Ionen Zellen ( <i>Westerhoff</i> )
Martin Wunsch	Simulationen mit COMSOL von Überspannungsableitern zur Untersuchung von elektrischen und magnetischen Feldern ( <i>Runge</i> )
Tobias Steinmetz	Simulation und Bewertung von Angebotsstrategien mit Photovoltaikanlagen an Regelleistungs- und Spotmärkten ( <i>Osterkamp/Seidel</i> )
Henning Weege	Technisch-ökonomische Analyse von Stromversorgungssystemen anhand eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens ( <i>Munzel</i> )
Gaojun Hu	Ansatz für ein alternatives, der Energiewende zugeschnittenes Netzentgeltsystem ( <i>Wussow</i> )
Dominik Stolz	Untersuchung und Vergleich von Spannungshaltungskonzepten mit PowerFactory und Ableitung von Feldtestkonzepten ( <i>Marggraf</i> )
Niu Liu	Untersuchung der Oberflächentemperatur von Vakuumschaltkontakten mit einer Thermografie-kamera während eines Ausschaltvorgangs ( <i>Pieniak</i> )
Jonathan Ries	Labornachbildung von Netzersatzlasten mittels eines RLC-Schwingkreises ( <i>Laudahn</i> )

Tuan Minh Trinh	Poolingeffekte bei der Leistungsvorhersage von PV-Kraftwerken ( <i>Osterkamp/Seidel</i> )
Mark Werbik	Entwicklung und Validierung einer Fehlerdetektionsroutine an einem Niederspannungsversuchsnetz ( <i>Klosinski</i> )
Mian Li	Entwicklung und Umsetzung eines Konzepts zur Datenkommunikation zwischen Ladesäule und Backend-System zum intelligenten Laden von Elektrofahrzeugen ( <i>Soleymani</i> )
Dominic Roth	Grundlagen der elektrostatischen Untersuchungen zur Charakterisierung von HGÜ-Isoliersystemen ( <i>Schierding/Pidoll</i> )
Aidar Assainov	Beurteilung von Netzstationen hinsichtlich des Störlichtbogen-schutzes ( <i>Hemdan/Rüther</i> )
Timm Kringiel	Potentialanalyse zum wirtschaftlichen Einsatz von PV-Batteriespeichern in privaten Haushalten unter Beachtung unterschiedlicher Betriebsweisen auf Basis des LCOE-Verfahrens ( <i>Loges</i> )
Daniel Urbschat	Photovoltaik am Kraftfahrzeug – Konzepte der Speicherung regenerativ mittels Solardach erzeugter Energie ( <i>Westerhoff</i> )
Erik Weinrich	Optimierung und Effizienzuntersuchung eines HV-Kühl-/ Heiz-Systems in Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen ( <i>Hauck</i> )
Björn Oliver Winter	Entwicklung und Verifikation von Verfahren zum Parallelbetrieb netzbildender Photovoltaikwechselrichter ( <i>Laudahn</i> )
Annemarie zum Felde	Untersuchung von Konzepten zur Nutzung der thermischen Massen von Wohngebäuden als Speichermöglichkeiten beim Einsatz von Wärmepumpen ( <i>Koch</i> )
Carsten Mank	Entwicklung eines Tarifmodells für Elektrofahrzeuge im Rahmen einer Geschäftsmodellentwicklung für regionale Energieversorger ( <i>Mummel</i> )
Jarno Witjenburg	Szenarienbasierte Entwicklung bedarfsgerechter Infrastrukturkonzepte für Elektrofahrzeugflotten unter Berücksichtigung aktueller Rahmenbedingungen ( <i>Mummel</i> )
Yifan Zhang	Konzeptionierung und Umsetzung der Überwachungs- und Steuerungselektronik zur Kommunikation zwischen Energiespeicher und Backend einer Ladesteuerung ( <i>Mummel</i> )
Christian Maiberg	Verhalten von Plasmen in Funkenstrecken unter Stoßstrombelastung an leistungsstarken Versorgungsnetzen ( <i>Kopp</i> )

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

*Ole Binder, Franziska Lobas-Funck, Uwe Westerhoff*

Arbeiten in den Bereichen Forschung und Entwicklung werden am elenia durch sechs Forschergruppen geleistet: Anlagentechnik, Batterietechnik, Energiemanagement, Hochspannungstechnik, Marktintegration, Netzintegration. Drei zentrale Forschungsschwerpunkte des elenia bilden die Plattformen für einen intensiven Austausch und optimale Bündelung der Kompetenzen über die Grenzen einzelner Gruppen hinaus (siehe Abbildung 2). Im Schwerpunkt „Komponenten der Energieversorgung“ werden moderne Betriebsmittel und Technologien für eine effiziente Energieversorgung erforscht. Die Komponenten ermöglichen einen sicheren und zuverlässigen Betrieb von innovativen Gleich- und Wechselstromsystemen. Der Schwerpunkt „Elektromobilität“ erforscht Komponenten und Technologien für Elektrofahrzeuge. Dabei liegen die Kompetenzen in den Bereichen des Hochvolt-Bordnetzes, der Batteriesystemtechnik und der Netzintegration über die Ladeinfrastruktur. Als dritter Schwerpunkt werden beim „Aktiven Verteilnetz“ Komponenten, Technologien und Szenarien zur Realisierung eines aktiven Verteilnetzes (Smart Grids) erforscht. Besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Markt- und Systemintegration erneuerbarer Energien.



Abbildung 2: Die drei Forschungsschwerpunkte und sechs Forschergruppen des elenia

Figure 2: The three research focuses and six research groups at elenia

### **Abstracts on Research Projects**

*Ole Binder, Franziska Lobas-Funck, Uwe Westerhoff*

At elenia research and development is done by six research groups: Electrical Power Systems, Battery Technology, Energy Management, High Voltage Technology, Market Integration, Grid Integration. The three research focuses of elenia are platforms for professional knowledge exchange and the focusing of internal competences beyond the borders of single groups. The research focuses at elenia are “Advanced Components”, “Electric Mobility” and “Smart Grids” as depicted in Figure 2.

### 3.1 Anlagentechnik – Electrical Power Systems

#### Aufbau eines Kameramessplatzes für praktische Untersuchungen zum Verhalten von Funkenstreckenableitern bei Stoßstrombelastung am Netz

*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 Prüfung nach der IEC 61643-11 wird hierfür ein Stoßstromimpuls parallel zu einem Netztransformator auf eine Funkenstrecke geschaltet.

Die Funkenstrecke stellt im Falle einer Überspannung eine Verbindung zum Potentialausgleich bereit über die ein Strom mit hoher Leitfähigkeit abgeleitet werden kann. Diese Verbindung wird über ein Plasma zwischen zwei abbrandfesten Elektroden realisiert. Es kommt aufgrund der hohen Leitfähigkeit des Plasmas nach dem Stoßstrom unter Umständen auch zu einem Stromfluss aus dem Netztransformator, dem sogenannten Netzfolgestrom.

Zur Sicherstellung des fehlerfreien Betriebs eines Netzes ist die Unterdrückung des Netzfolgestromes notwendig. Hierbei muss der Funkenstreckenableiter selbstständig nach dem Stromimpuls eine galvanische Trennung herstellen können. Zur Untersuchung und anschließenden Optimierung dieser Löschvorgänge werden Aufnahmen der Plasmavorgänge angestrebt.

Die Aufnahme von Plasmavorgänge im Falle eines  $8/20 \mu\text{s}$  Stoßstromes stellt aufgrund der möglichen Aufnahmezeiten (ca.  $40 \mu\text{s}$ ) eine besondere Herausforderung dar. Zusätzlich dazu ist der Übergangsbereich, vom Stoßstrom zum Netzfolgestrom aufgrund der unterschiedlich großen Ströme, schwer zu beobachten. Hierfür wurde das Blitzschutzlabor des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia um einen High-Speed-Kamera-Messplatz erweitert, Abbildung 3.

Das Labor besitzt für diese Untersuchungen drei 130 kVA Transformatoren und einen Stoßstromgenerator ( $8/20 \mu\text{s}$ , 25 kA) welche über ein digitale Ablaufsteuerung angesteuert wird. Es verfügt nun über fünf Messsonden die eine Amplitudenauflösung von 14-bit bei einer Samplingrate von 100 MS/s haben. Die Messsonden sind, über LWL, potentialgetrennt an das Messsystem BitGate AD 3000 von Highvolt angeschlossen. Gemessen werden im momentanen Prüfaufbau der Transformator- und der Stoßstrom, die Transformator- und die Plasma-spannung und ein Synchronisationssignal der High-Speed-Kamera.

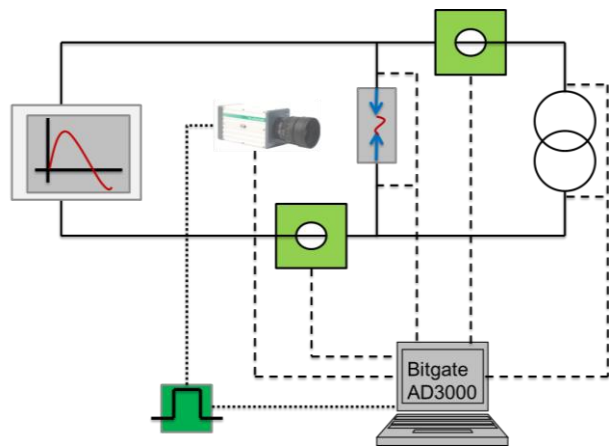


Abbildung 3: High-Speed-Kamera-Messplatz

Figure 3: High-speed camera test field

Zwei Typen von High-Speed-Kameras sind in dem Aufbau integrierbar die institutseigene High-Speed-Kamera der Firma Redlake Motion Pro X4 mit einer maximalen Bildwiederholfrequenz von 200 kHz und die leihweise zur Verfügung stehende High-Speed-Kamera SA5 der Firma Photron mit einer maximalen Bildwiederholfrequenz von bis zu 1 MHz. Hierbei ist sowohl ein Stativ mit optischer Bank für optische Filter aufgebaut worden, als auch eine Triggerschaltung die die Kamera in den Prüfablauf integriert.

### **Theoretical investigations on the behaviour of spark gap technology based arresters connected with the power distribution network during surge current**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp*

A surge protection device based on spark gap technology is used for the protection of electric and electronic devices against overvoltages. In order to test the arresters it is necessary to emulate the real environment during surge. In a defined test environment described in IEC 61643-11 a surge impulse will be injected parallel to a transformer into the device under test. In the event of an overvoltage the device under test establishes a connection with high conductivity to the equipotential bonding that can derive the fault current. This connection is realized using plasma between two erosion-resistant electrodes. Due to the high conductivity after the impulse a second current coming from the distribution transformer can occur, the so-called follow current.

To ensure the correct functionality of a network, the suppression of the follow current is necessary. Therefore the spark gap arrester has to switch off the follow current independently and must ensure the galvanic insulation subsequently. To investigate and optimize the switch off process camera measurements of the plasma are pursued. To capture the behavior of the plasma in case of an  $8/20 \mu\text{s}$  surge current is a difficult challenge due to the necessary high frame rate. Additionally the transition from surge to follow current is difficult to observe due to the different magnitudes of the currents. To observe this behavior the Lightning-protection-laboratory of the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems – elenia was expanded with a High-speed camera test field, Figure 3. For this purpose the laboratory has three 130 kVA transformers and a surge current generator ( $8/20 \mu\text{s}$ , 25 kA) which can be triggered by a digital control sequencer. The laboratory is now equipped with five measurement probes with an amplitude resolution of 14-bit and a sampling rate of 100 MS/s. The measurement probes are connected via fiber optical link with the measurement system BitGate AD 3000 from the company Highvolt. Measured are the surge current, the transformer current, the plasma voltage, the transformer voltage and the high-speed camera synchronization signal.

Two types of high-speed cameras can be integrated in the test setup. A high-speed camera with a maximum frame rate of 200 kHz which is owned by the institute, the Redlake Motion Pro X4 and a Photron SA5 high-speed camera with a maximum frame rate of 1 MHz which

can be rented by the institute. For the use the cameras a professional stand was established with an optical bench for optical filters. The cameras can be controlled by the digital control sequencer.

## Diagnose von Plasmaeigenschaften unter Stoßstrombelastung

*Tobias Runge, M.Sc.*

Zum Schutz der elektrischen Anlagen im Niederspannungsnetz vor Stoßströmen aufgrund von Blitzeinschlägen werden Blitzstromableiter basierend auf der Funkenstreckentechnologie in die Netzstruktur integriert. In der Funkenstrecke wird bei anliegender Stoßspannung ein Plasma zwischen zwei Elektroden gezündet. Aufgrund des niederohmigen Plasmas wird der Stoßstrom zur Erde abgeleitet und das nachgeschaltete elektrische Gerät geschützt. Durch den geringen Widerstand breitet sich jedoch ein Netzfolgestrom aus. Aufgrund dieses Stromes von bis zu mehreren kiloAmpere wird die Sicherung der zu schützenden Anlage ausgelöst, wodurch die Stromversorgung unterbrochen ist. Damit die Sicherung des Systems nicht auslöst, ist es erforderlich den Netzfolgestrom zu begrenzen. Eine Methode zur Begrenzung des Netzfolgestromes ist, den Widerstand des Plasmas, durch Einengung in gasenden Wänden und somit Kühlung, zu erhöhen.

Zum besseren Verständnis der Vorgänge im Plasma und um die Eigenschaften des Plasmas zu bestimmen, werden an einem entwickelten Prüfling Grundlagenuntersuchungen zu den Plasmaeigenschaften durchgeführt. Ein Schnittbild des Prüflings ist in der Abbildung 4 zu sehen. In diesem wird der Lichtbogen über eine Zündhilfe zwischen den beiden Elektroden in der Brennkammer (10 mm x 10 mm x 1 mm) gezündet. Zur Druckentlastung ist die Brennkammer mit zwei Ausblaskanälen ausgestattet.

Im ersten Schritt wird der Druck des Plasmas bei unterschiedlichen Stromamplituden und Ausblaskanalquerschnitten untersucht. Hierzu wurde eine Messkette entsprechend den Anforderungen ausgelegt. Weitergehend wurde diese auf die Störanfälligkeiten, wie zum Beispiel durch das elektrische und magnetische Feld untersucht und geeignete

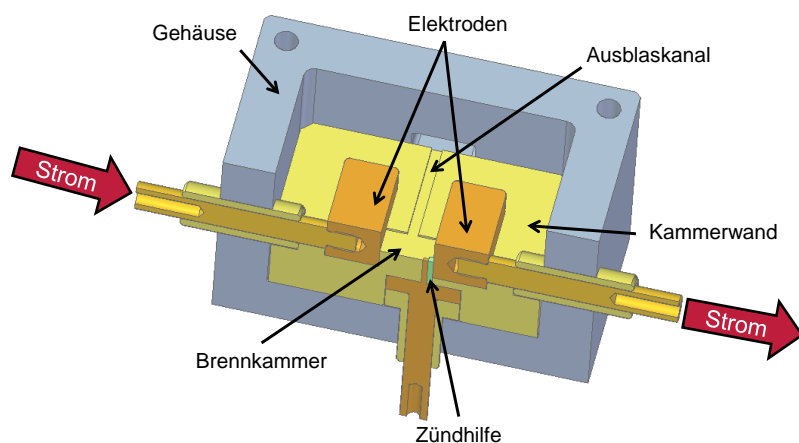


Abbildung 4: Schnittbild des entwickelten Prüflings.

Figure 4: Cutaway view of the test-model.

Schirmmaßnahmen zur Störminderung entwickelt. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die ausstehenden Druckuntersuchungen nur geringen Störeinflüssen ausgesetzt sind.



### **Diagnostic of plasma properties for short time current**

*Tobias Runge, M.Sc.*

To protect the electrical facilities against surge due to lightning impacts surge protective devices (SPD's) are integrated into the electrical grid. The SPD's are based on spark gap technology, in which an arc is ignited. Due to the arc, the surge is bypassed to the neutral conductor. The arc represents a failure which allows the flow of a failure current which is fed by the energy grid. In order to restrict this current the arc is quenched into a narrow gap.

To get a better knowledge of the arc behaviour the plasma properties will be measured at the elenia. A test-model is build up (Figure 4) with a narrow gap of 10 mm x 10 mm x 1 mm and two outlet ducts to reduce the pressure. Currently the plasma pressure and the influences of different current amplitudes and outlet duct diameters on pressure are investigated. Therefore a pressure sensor was examined in his utility. Further the errors due to electric and magnetic fields were investigated and a suitable shielding was built up to reduce these errors.

### **Entwicklung von Plasmasimulationen mit OpenFOAM zur Unterstützung der Entwicklung von Überspannungsschutzableitern**

*Christian Sander, M.Sc.*

Durch Blitzeinschläge und Schalthandlungen kommt es in Energienetzen zu Überlastungen, die in Form von Stoßstromimpulsen und Überspannungen auftreten. Zum Schutz von elektrischen Verbrauchern wird, neben dem äußeren Blitzschutz, ein innerer Blitzschutz in Form von Überspannungsschutzableitern verwendet. Bei einem Überspannungsereignis wird der Ableiter niederohmig und begrenzt dadurch die maximal auftretende Spannung auf sichere Grenzwerte, wodurch elektrische Geräte geschützt werden. Als leistungsstärkstes Element wird in kommerziellen Ableitern eine Funkenstrecke in einem druckfesten Gehäuse verwendet. Aufgrund der kurzzeitig sehr hohen umgesetzten Leistungen entsteht in der Funkenstrecke ein heißes Plasma, das sich durch hochdynamische, physikalische Vorgänge auszeichnet und sich experimentell nur schwer untersuchen lässt. Da Funkenstrecken bei zu hohen Drücken versagen können, ist es wichtig, die Druck- und Strömungsphänomene zu verstehen.

Simulationsmethoden bieten hier den Vorteil eines besseren Verständnisses der physikalischen Vorgänge und können es ermöglichen, den Entwicklungsaufwand durch Vorbetrachtungen zu reduzieren. Außerdem ermöglicht das gewonnene Verständnis eine zielgerichtete Entwicklung.

Mit diesem Hintergrund wird ein Simulationsprogramm auf Basis von OpenFOAM entwickelt, das die multiphysikalischen Prozesse, die in einem Überspannungsableiter relevant sind, abbildet. Dies sind primär die Strömung, der Energietransport durch Wärmeleitung und Strahlung, sowie die elektromagnetischen Felder und Kräfte. Weiterhin werden der Material-

abbrand von Kunststoffen und Elektroden, das Verhalten des Plasmas an der Grenzschicht zu den Elektroden sowie die Anbindung an einen externen Schaltkreis modelliert.

Die komplizierte experimentelle Zugänglichkeit der Überspannungsschutzableiter begrenzt die Möglichkeiten zur Validierung des Modells. Möglich sind Validierungen von Teilmodellen im Vergleich mit analytischen Lösungen (Strömung, Feldberechnung, Wärmeleitung, externe Schaltkreise u. v. m.) sowie der Vergleich von Simulationsergebnissen mit konkreten Realisierungen eines Überspannungsschutzableiters (Abbildung 5). Diesen Validierungen sind somit von hoher Bedeutung, um die Genauigkeit des Modells zu bewerten.

Parallel dazu wird das Simulationsmodell bereits für reale Anwendungen eingesetzt, um z.B. die Auswirkungen von Geometrieänderungen in realen Produkten einschätzen zu können.

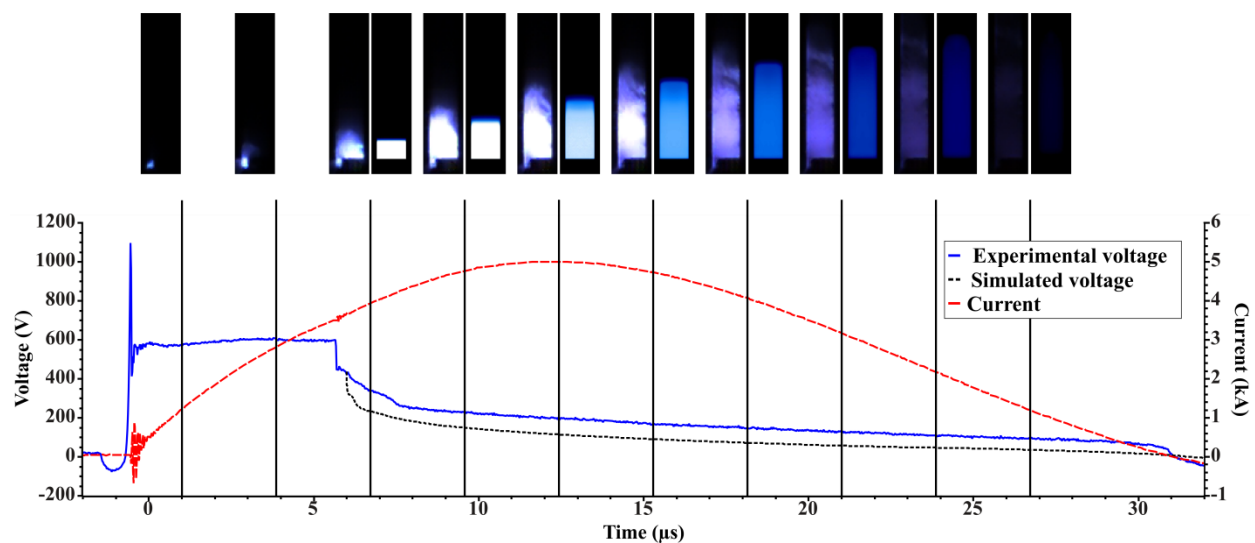


Abbildung 5: Vergleich einer Simulation mit Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen

Figure 5: Comparison between simulation and high speed camera measurement

## Development of Plasma Simulation Methods with OpenFOAM to support the Development of Surge Protective Devices

*Christian Sander, M.Sc.*

The efficient development of surge protective devices (SPD) requires the knowledge of the underlying physics of thermal plasmas. SPDs can fail due to high mechanical stress, so the understanding of flow- and pressure-build-up is of vital importance.

Compared to experimental methods, plasma simulations have the advantage that the physical quantities are easily accessible and allow to gain a better understanding of the physical processes.

Because of this a plasma simulation model is being developed that considers all relevant physical effects, such as plasma flow, heat transfer by heat conduction and radiation and the electromagnetic fields and forces. Additionally, polymer ablation and electrode erosion, con-

tact effects between the plasma and the electrode in a sheath region as well as coupling with an external circuit can be considered.

A large focus lies on verification of the model. Because of the difficult experimental accessibility of the physical quantities only parts of the model can be validated at once by comparing them with analytical solutions, such as flow, electromagnetic fields, heat conduction or the external circuits. Alternatively the whole model may be compared with specific realizations of SPDs (Figure 5).

In addition to validation, the model is already being applied to support the development of commercial SPDs, for example to investigate the effect of change the geometry of an SPD.

### **Schalten kleiner Gleichströme mit Schützen der Niederspannungstechnik**

*Dipl.-Ing. Hendrik Köpf*

Aufgrund von Neuentwicklungen steigt der Einsatz von Gleichspannungssystemen im Bereich der Niederspannungstechnik, wie beispielsweise Elektrofahrzeugen, immer weiter an. Systemspannungen von einigen 100 V und Nennströme von einigen 100 A werden in solchen Bordnetzen eingesetzt. Die Energieversorgung wird mit Hilfe hochleistungsfähiger Lithium-Ionen-Akkumulatoren erreicht. Der Bedarf höherer Antriebsleistungen, beispielsweise im Bereich der vollelektrifizierten Personenkraftwagen aber auch des straßengebundenen Güterverkehrs, wird in Zukunft zu leistungsstärkeren Energiespeichern und höheren Systemspannungen führen. Steigende Anforderungen machen Untersuchungen und systematische Weiterentwicklung von Schalt- und Schutzkonzepten notwendig.

Aus diesem Zweck wurde ein Modellschaltgerät für eine Systemspannung von 450 V dimensioniert. Das Modellschaltgerät verfügt über Silber-Nickel-Kontakte aus AgNi 80/20.

Vor dem Hintergrund des Ausschaltvermögens wurde die Schaltlichtbogenwanderung in der Modellschaltkammer für Prüfströme  $I_p$  zwischen 100 A bis 2000 A und ohmsch-induktiven Zeitkonstanten  $\tau$  von 0 ms und 3 ms in unterschiedlichen Löschblechkonfigurationen untersucht. Das Oszillogramm eines solchen Prüfdurchganges, im Fall eines Prüfstroms  $I_p$  von 250 A und einer Zeitkonstante  $\tau$  von 3 ms, zeigt Abbildung 6. In der Abbildung ist ebenfalls eine schematische Skizze der Modellschaltkammer zu sehen.

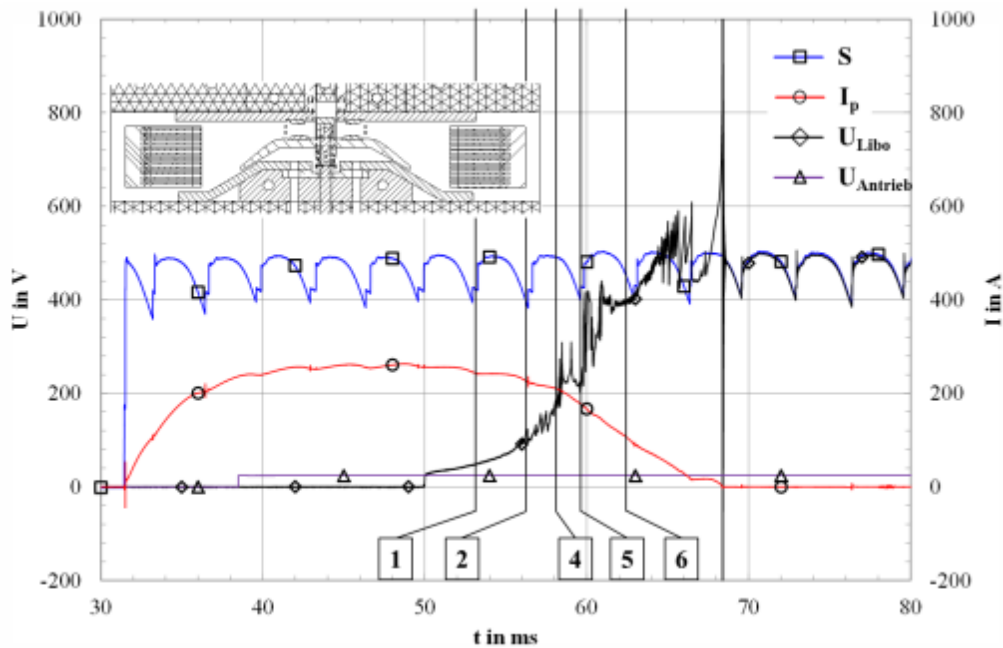


Abbildung 6: Oszillogramm eines Tests des Ausschaltvermögens

Figure 6: Oscillogram of a test of the switching capacity

Während der Untersuchung wurden zusätzlich Schnellfilmkameraaufnahmen des Schaltvorganges aufgezeichnet. Die zeitliche Position der Schnellfilmaufnahmen ist im Oszillogramm gekennzeichnet. Die Schnellfilmaufnahmen zeigt Abbildung 7.

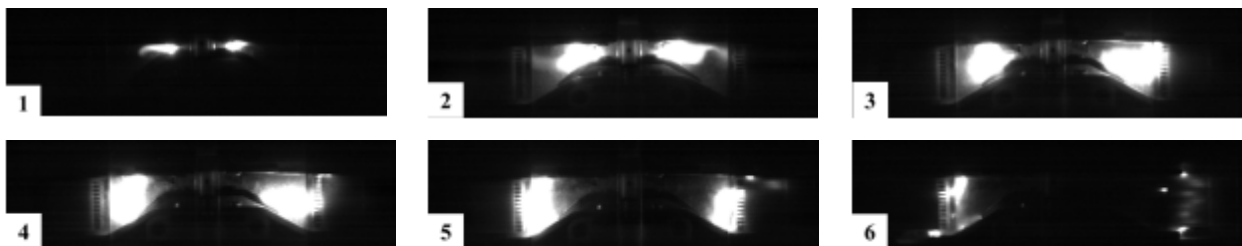


Abbildung 7: Lichtbogenwanderung in einer Modellschaltkammerkonfiguration

Figure 7: Arc wandering inside an investigative switching chamber configuration

Das Oszillogramm zeigt, wie sich im Augenblick  $t = 50$  ms die Kontaktbrücke öffnet und zwei Schaltlichtbögen entstehen. Dies ist am Sprung der Lichtbogen Spannung erkennbar. Daraufhin verweilen die Schaltlichtbögen auf den Kontaktplättchen während der Verharrdauer, was in Abbildung 7.1 zu sehen ist. Im Anschluss kommutieren die Lichtbögen in Abbildung 7.2 von den Kontakten auf die Laufschiene und wandern an das Ende der beweglichen Kontaktbrücke in Abbildung 7.3. Die Schaltlichtbögen kommutieren von der Brücke auf die untere Laufschiene in Abbildung 7.4 und beginnen in Abbildung 7.5 mit dem Einlauf in das Löschblechpaket. In Abbildung 7.6 ist der rechte Schaltlichtbogen in das Löschblechpaket eingelaufen. Einige Millisekunden später läuft der linke Schaltlichtbogen ebenfalls ein. Die

Lichtbogenspannung wird über die treibende Spannung hinaus erhöht und der Lichtbogenstrom  $I_p$  in Abbildung 6 zu 0 A gezwungen.

### **Switching of small dc currents with low voltage contactors**

*Dipl.-Ing Hendrik Köpf*

Changes in energy supply lead to an increasing use of low-voltage dc grids. Applications are for example automotive dc powertrains of electric vehicles. The requirements for switchgear and protective devices in automotive dc-powertrains are technically sophisticated. Electric vehicles run with system voltages of several 100 V and nominal currents of several 100 amperes. Lithium-ion batteries are used as energy sources in these systems. The demand for more powerful powertrains, for example in case of electric vehicles and lorries, will lead to more powerful energy sources and higher system voltages. Because of these developments technical requirements for applied switching devices will become more sophisticated. Therefore switchgear and protective devices for this application have to be investigated.

A switching chamber with arc splitter blades for the application in an automotive dc powertrain has been investigated for a system voltage of 450 V. The switching chamber is equipped with silver-nickel-contacts AgNi 80/20.

The switch-off capacity of the model switch has been investigated considering the wandering behavior of the switching arcs in case of test currents  $I_p$  of 100 A to 2000 A, resistive-inductive time constants  $\tau$  of 0 ms and 3 ms and different switching blade configurations. The oscillogram of such a test, in case of a test current of 250 A and a time constant of 3 ms, shows Figure 6. The figure also shows a schematically sketch of the investigated switching chamber.

A high-speed movie with 10000 frames per second has been recorded during this switching process. The position of some of the pictures is marked in the oscillogram. These high-speed photographs shows Figure 7.

### **Ausschaltuntersuchungen hybrider DC-Leistungsschalter**

*Dirk Bösche, M.Sc.*

Der Anteil an Photovoltaikanlagen und Elektrofahrzeugen nimmt immer mehr zu. Da diese Systeme mit Gleichspannung arbeiten, ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Schaltgeräte. Diese müssen in der Lage sein Stromkreise sicher zu trennen und kurzzeitig hohe Kurzschlussströme führen zu können. Dabei sollen die Geräte möglichst leicht und kompakt sein, dürfen aber im eingeschalteten Zustand nur geringe Durchlassverluste erzeugen.

Mechanische Schaltgeräte sind in der Lage große Ströme bei geringen Verlusten zu führen. Um einen Gleichstromkreis sicher trennen zu können, ist ein erhöhter konstruktiver Aufwand nötig. Während des Öffnens eines stromdurchflossenen Schalters bildet sich zwischen den

Kontakten ein Lichtbogen. Dieser Verlischt, sobald der Strom zu Null wird. Da in DC-Netzen kein natürlicher Stromnulldurchgang vorhanden ist, muss der Strom durch äußere Maßnahmen zu Null gezwungen werden.

Alternativ können Halbleiter zum Schalten von Gleichströmen eingesetzt werden. Diese sind in der Lage lichtbogenfrei Stromkreise zu unterbrechen und müssen im Gegensatz zu mechanischen Schaltgeräten nicht gewartet werden. Allerdings verursachen Halbleiter recht hohe Durchlassverluste, welche durch aufwändige Kühleinrichtungen abgeführt werden müssen. Des Weiteren sind sie nur gering überlastbar, anfällig gegenüber Überspannungen und stellen keine galvanische Trennstrecke her.

Durch eine Kombination von mechanischem Schalter und Leistungshalbleiter, lassen sich die Vorteile beider Technologien vereinen. Solch ein Hybridschalter wurde aus einem kommerziellen Schutzschalter und einer Elektronik aufgebaut. Diese Anordnung wurde bezüglich ihres Ausschaltverhaltens mit unterschiedlichen Strömen und Zeitkonstanten bei einer Prüfspannung von 475 V untersucht.

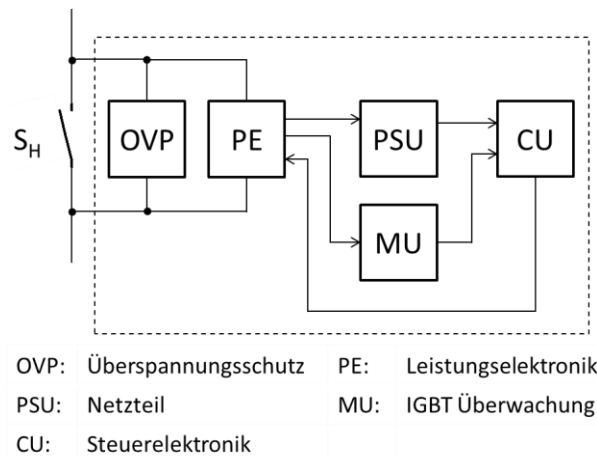


Abbildung 8: Bestandteile der Hybridelektronik  
 Figure 8: Schematic diagram of the hybrid circuit breaker.

Nach dem Öffnen des stromdurchflossenen mechanischen Schalters, bildet sich zwischen den Kontakten ein Lichtbogen. Mittels der Lichtbogenspannung lädt das Netzteil *PSU* einen Kondensator. Sobald die Ladespannung einen bestimmten Wert erreicht, steuert die Steuerelektronik *CU* die Leistungselektronik an. Diese schließt den Schalter  $S_H$  kurz, sodass der Lichtbogen verlischt. Die Leistungselektronik *PE* bleibt für eine gewisse Zeit eingeschaltet, damit die Schaltstrecke  $S_H$  eine ausreichende elektrische Festigkeit erreichen kann. Im Anschluss schaltet die Steuerelektronik *CU* die Leistungselektronik aus. Die durch den Schaltvorgang entstehende Überspannung wird durch den Überspannungsschutz *OVP* begrenzt. Während des Schaltvorgangs überwacht die IGBT-Überwachung *MU* die Leistungselektronik. Wird ein kritischer Zustand erkannt, erfolgt ein Signal an die Steuerelektronik *CU*. Sie schaltet die Leistungselektronik *PE* ab um Schäden zu vermeiden.

Aufgrund der sehr kurzen Einschaltdauer benötigen die IGBTs keine Kühlkörper. Somit können diskrete Leistungshalbleiter in kompakten TO-247 Gehäusen verwendet werden. Zudem ist die elektronische Schaltstrecke bidirektional aufgebaut und könnte auch bei Wechselstrom eingesetzt werden.

### **Breaking Performance Investigation of Hybrid DC Circuit Breakers**

*Dirk Bösche, M.Sc.*

As the penetration level of decentralized generation (DG) increases, DC networks become an interesting topic for all power professionals. Different challenges are need to be faced by establishing The circuit breakers have to meet different technically requirements. DC switching devices need to be able to break an electric circuit securely and to conduct short circuit currents for a short time. Moreover, these devices have to be small and light as possible, but should only produce little power loss during on state.

Mechanical DC switches are capable of conducting large currents with small losses. However, to break a DC circuit securely, these devices need often complex designed arcing chambers. During breaking process of a conducting switch, an electric arc is formed between the contacts. In case of AC systems, this arc is extinguished as soon as the current becomes zero. However, in DC systems, there is no natural zero crossing, therefore the current has to be forced to become zero through the design features of the circuit breaker. Alternatively, semiconductors can be used to switch DC circuits. They are capable of breaking of a DC circuit without existence of arc and also they don't need any maintenance like mechanical circuit breakers. However, semiconductors cause fairly high conduction losses and therefore need to be attached to large cooling devices. Additionally they can only be slightly overloaded, are prone to overvoltage and do not ensure galvanic separation.

A combination between mechanical switch and power semiconductor can offer the advantages of both technologies. In such case the circuit breaker is called hybrid circuit breaker.

### **Intelligente Schaltkonzepte für den Einsatz in Gleichstromnetzen**

*Christoph Klosinski, M.Sc.*

Im Niederspannungsbereich geht der Trend zum vermehrten Einsatz von 380 V-Gleichspannungsnetzen. Für die Unterbrechung von Gleichströmen für Systemspannungen von 380 V werden spezielle Schaltgeräte benötigt. Der Einsatz von leistungsfähigen AC-Schalt- und Schutzkomponenten ist nicht geeignet. Aufgrund der Verschaltung der Netzkomponenten müssen unter hohen Kosten und technischem Aufwand Leistungs- und Schutzschalter mit hoher Schaltleistung entwickelt werden. Die Modulbauweise der dezentralen Stromversorgungssysteme bietet hierbei die Möglichkeit für den Einsatz von innovativen Schaltkonzepten für eine intelligente Lösung der Schaltaufgabe.

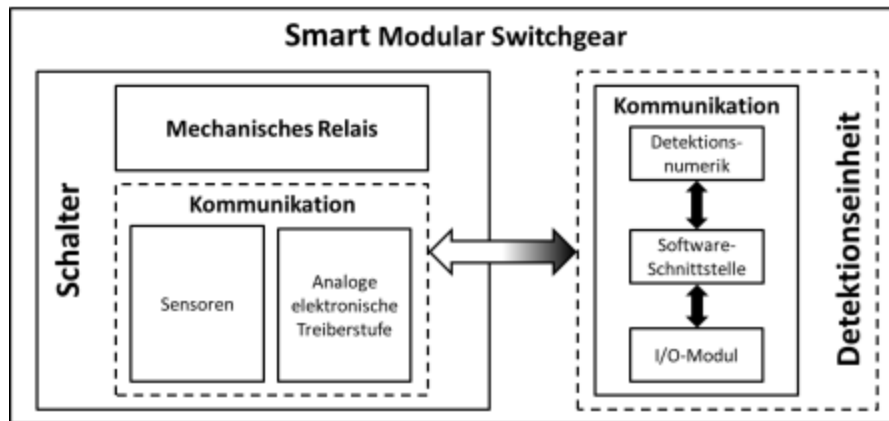


Abbildung 9: Blockschaltdiagramm des intelligenten Schaltkonzepts

Figure 9: Block plugging of Smart Modular Switchgear

Für das Projekt wird ein softwarebasiertes intelligentes Schalt- und Schutzkonzept für Gleichspannungsnetze entwickelt (Abbildung 9). Das Konzept basiert auf PSCAD-Simulationsergebnissen von Strom- und Spannungssteilheiten in einem 24V-DC-Netz. Unterschiedliche Fehlerarten und Fehlerorte lassen sich aufgrund der Ergebnisse voneinander abgrenzen. Auf Basis dieser Untersuchungen ist eine Detektionseinheit erstellt worden, welche eigenständig Schaltentscheidungen trifft.

### Smart Modular Switchgear for DC systems

*Christoph Klosinski, M.Sc.*

In the LV DC the use of 380 V systems is rising steadily. The breaking of fault currents in DC systems is characterized by the arc-quenching. Especially at a system voltage of 380 V the use of AC switching and protection components for the use in LV DC power grids is not applicable. In order to establish reliable DC systems intelligent protection is becoming increasingly important.

In this project a novel software-based intelligent switching and protection scheme for 24 V DC systems is proposed (Figure 9). The protection concept was developed based on numerical detection of current and voltage derivatives in the DC network. Based on the numerical detection of the currents and the voltages, the fault location and type can be identified, and therefore the optimal switching decision can be specified.



### 3.2 Batterietechnik – Battery Technology

#### LithoRecII – Recycling von Lithium-Ionen Batterien aus Elektrofahrzeugen

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderte Projekt LithoRecII hat den Aufbau einer Pilotanlage zum Lithium-Ionen-Batterierecycling aus Elektrofahrzeugen zum Ziel. Durch ein hydrometallurgisches Verfahren sollen Sekundär-batterien in Batteriequalität hergestellt werden um die Rohstoffunabhängigkeit Deutschlands unter anderem von Lithium und Kobalt sicherzustellen und den Materialkreislauf zu schließen.

Das Projekt umfasst mehrere Prozessschritte die jeweils von verschiedenen Instituten und Industriepartner untersucht werden. Entlang aller Prozessschritte werden zudem eine ökologische und ökonomische Bewertung durchgeführt (Abbildung 1). Das elenia beschäftigt sich mit dem Prozessschritt der Batterieentladung. Die im Projekt rückläufigen Lithium-Ionen-Batteriesysteme aus BEV (battery electric vehicles), HEV (hybrid electric vehicles) oder PHEV (plug-in-hybrid electric vehicles) weisen Kapazitäten von bis zu 25 kWh und Spannungen über 400 V auf. Ziel ist die in den Batterien vorhandene Restenergie möglichst schnell, praktikabel, sicher und kostengünstig zu entladen damit die Funkenbildungs- und Brandgefahr im anschließenden Lagerungs- und Zerkleinerungsprozess minimiert wird.

Zu diesem Zweck werden verschiedene

Vorrichtungen zur Tiefentladung aufgebaut und erprobt. Die untersuchten Entladeverfahren beinhalten einfache und kostengünstige Widerstandsschaltungen (Entladung mit konst. R), MOSFET-Schaltungen (Entladung mit konst. I), Flüssigkeitsentladungen (keine Kontaktierung notwendig) sowie die Energierückgewinnung durch Netzzurückspeisung (Abbildung 10). Untersucht wird bei der Tiefentladung zum einen das Batterieverhalten anhand von Entladezeiten, -kennlinien, -strömen, -spannungen, -kapazitäten, -temperaturen, Innenwiderständen, Spannungsrelaxation und Kurzschlussfähigkeit. Zum anderen werden die Verfahren anhand

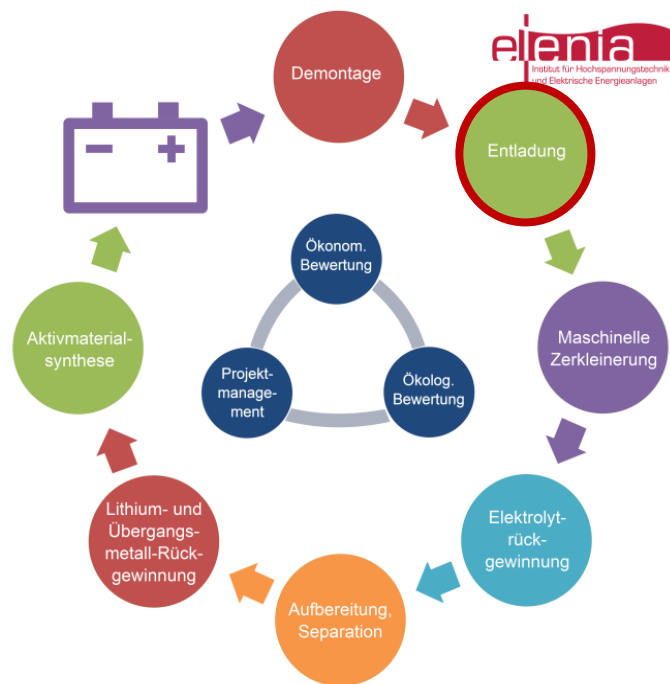


Abbildung 10: Prozessschritte in LithoRecII

Figure 10: LithoRecII process steps

ihrer Eigenschaften in Bezug auf z.B. Entladezeiten, Flexibilität der Entladung, Sicherheit, Preis, Fertigungsaufwand und Komplexität verglichen und bewertet.

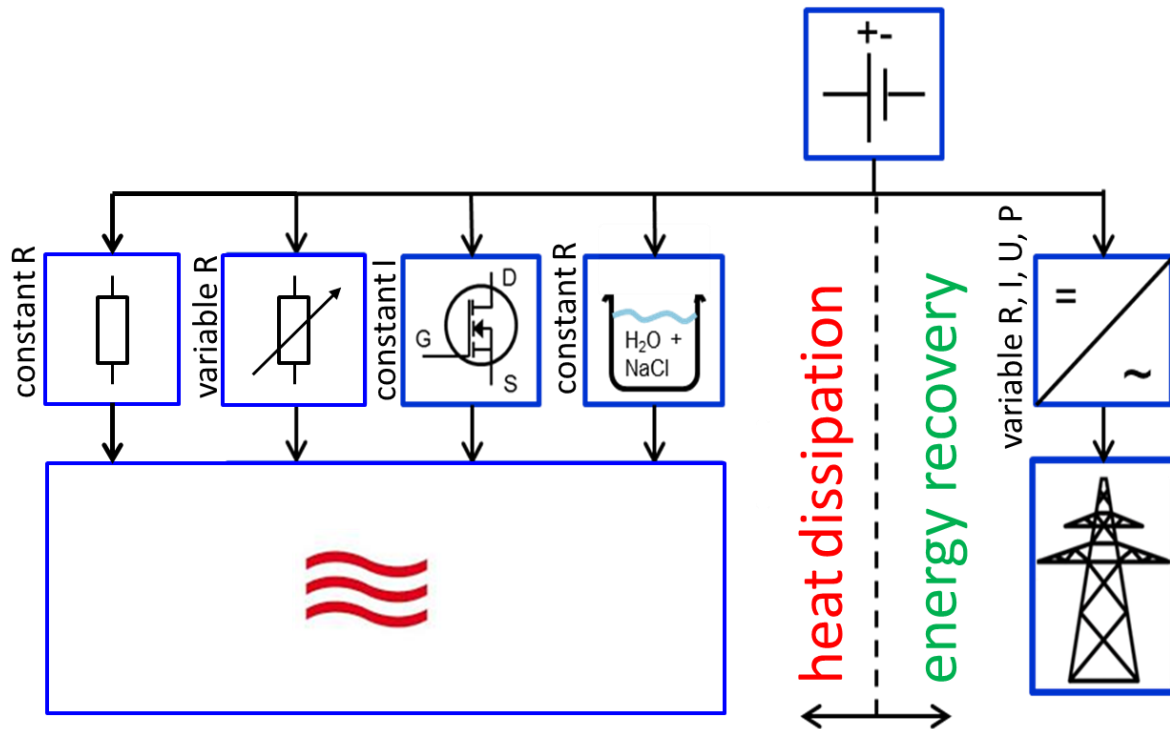


Abbildung 11: Untersuchte Verfahren zur Tiefentladung von Lithium-Ionen Batterien  
 Figure 11: Investigated techniques to over discharge lithium-ion batteries

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

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Funded by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety the project LithoRecII has the construction of a pilot plant for lithium-ion battery recycling of electric vehicles as its goal. The different process steps (figure 1) are investigated by different institutes and industry partners.

Our task in elenia is to investigate different discharge strategies (Figure 11), such as the discharge by resistors, MOSFET's or liquids, which have been suitable for battery systems, modules and cells, in order to make the subsequent milling process 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, we aim to come out with a proposal for an proposing of optimal discharge mechanisms in order to achieve a high lithium recovery ratio for the different battery cells.

## Leistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Zellen in Abhängigkeit von verschiedenen Formierungsprozeduren

*Kerstin Kurbach, M.Sc.*

Die Formierung ist ein wichtiger Bestandteil in der Produktion von Lithium-Ionen-Zellen, die sich nach Abschluss des Herstellungsprozesses zunächst in einem inaktiven Zustand befinden und durch Lade- und Entladezyklen aktiviert werden müssen. Aufgrund von chemischen Reaktionen zwischen dem Elektrolyt und der Graphit-Elektrode bildet sich auf der Elektrodenoberfläche die Solid Electrolyte Interphase (SEI). Diese Schicht verhindert einen Großteil weiterer Passivierungsreaktionen und schützt die Elektrode vor negativen Einflüssen des Elektrolyten. Die Formierungsprozedur, bestimmt durch Anzahl der Zyklen, Höhe der C-Rate sowie Verlauf des Ladestroms und Temperatur, beeinflusst die Struktur, Dicke und Zusammensetzung der SEI. Die SEI hat damit einen maßgeblichen Einfluss auf die späteren Zelleigenschaften und das Alterungsverhalten der Zellen. Das bisherige Wissen über den Aufbau und die Zusammensetzung der SEI ist jedoch sehr begrenzt und die Festsetzung der Formierungsparameter basiert vor allen Dingen auf Erfahrungswerten. Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Ladekapazität zweier unterschiedlich formierter Zellen. Zelle 1 wurde über einem Zyklus mit 1/10 C formiert, Zelle 2 hingegen über zwei Zyklen mit nur 1/20 C. Deutlich zu erkennen ist, dass die Kapazität von Zelle 1 über 50 Zyklen zunächst noch ansteigt und erst dann einen Wert um die 42 mAh erreicht, während Zelle 2 bereits zu Beginn der Zyklisierung einen deutlichen stabileren Wert annimmt und diesen hält.

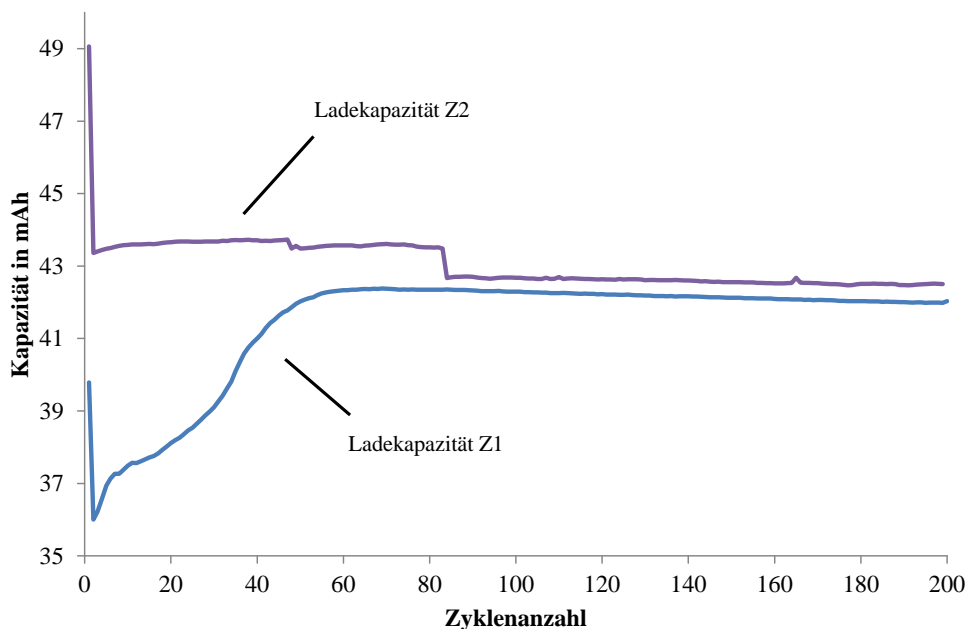


Abbildung 12: Ladekapazität über 200 Zyklen für die Zellen Z1 und Z2

Figure 12: Charge capacity over 200 cycles for the cells Z1 and Z2

Diese Erfahrungswerte zeigen, dass bei einem sehr kleinen Strom stabile Zellen produziert werden können. Der niedrige Ladestrom während der Formierung ist jedoch mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand in der Produktion verbunden. Ein wesentliches Ziel ist es daher die Auswirkungen verschiedener Formierungsprozeduren besser zu verstehen und hinsichtlich Schnelligkeit des Formiervorganges und Qualität der Zellen zu optimieren. Zur systematischen Untersuchung der Formierung werden die produzierten Zellen mit variierenden Prozessparametern formiert und im Anschluss die Zelleigenschaften analysiert.

### **Performance of lithium-ion cells depending on the formation procedure**

*Kerstin Kurbach, M.Sc.*

At the beginning of life after the cell production is completed the new uncharged cells are electrically activated by the process of formation. This process comprises charge and discharge cycles which selected parameters have a decisive influence on the cell performance. The most important process parameters are the number of charge cycles, the level of C-rate as well as the course of the charging current and the temperature of the cells. These mentioned settings of the formation process affect structure, thickness and composition of the SEI layer which is mainly formed during the first charge cycle on the surface of the graphite electrode. This layer influences, among other things, the cell performance, cycling stability and safety issues of the cells. The processes during formation and the optimal procedure are so far largely unexplored.

Figure 12 shows the course of the charge capacity of two cells which were formed by the use of two different formation procedures. Whereas the cell 1 was formed over one cycle with a current of 1/10 C, the cell 2 underwent a formation procedure of two cycles with a current of 1/20 C. It is clearly evident that the capacity of cell 1 increases for 50 cycles and then reaches a value around 42 mAh, while cell 2 at the beginning of the cyclization already takes a stable value and holds it. Further effort needs to be undertaken to show the impact of different formation procedures on the cell characteristics.

### **Erweitertes Batteriemanagementsystem**

*Lorenz Soleymani, M.Sc.*

Die Batterie als wiederaufladbarer chemischer Energiespeicher bildet das Herzstück von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen. Um einen sicheren, zuverlässigen und möglichst lang anhaltenden Betrieb der Sekundärbatterie zu gewährleisten, wird ein Batteriemanagementsystem (BMS) eingesetzt, das sowohl Überwachungs- als auch Kontrollfunktionen übernimmt. Hierzu gehören: Datenerfassung (Strom, Spannung, Temperatur), Zustandsbestimmung (State of Charge – SOC, State of Health – SOH, State of Function – SOF), thermisches Manage-

ment, elektrisches Management (Lade- und Entladesteuerung, Balancing) und Kommunikation mit übergeordneten Systemen.

Das elenia beschäftigt sich mit der Erforschung und Konzipierung von innovativen Batteriemanagementsystemen. Für die Umsetzung einer erweiterten Batteriediagnostik zur Bestimmung der Zellcharakteristik ist eine zusätzliche Auslegung der Batteriezellen mit Messtechnik erforderlich. Durch die Entwicklung und Implementierung von möglichst exakten Algorithmen können aus den Messdaten die Batteriezustandsgrößen ermittelt werden. Auf Basis von Datenanalyseverfahren können die erhobenen Messdaten instantan ausgewertet und für die Steuerung der Leistungselektronik bereitgestellt werden.

### **Advanced Battery Management System**

*Lorenz Soleymani, M.Sc.*

The battery as a rechargeable chemical energy storage is the heart of battery-powered electric vehicles. To ensure a safe, reliable and long-lasting operation as possible of the secondary battery, a battery management system (BMS) is used, which takes over both monitoring and control functions. These include data acquisition (current, voltage, temperature), status determination (state of charge – SOC, state of health – SOH, state of function – SOF), thermal management, electrical management (charge and discharge control, balancing) and communication with higher-level systems.

The institution elenia is engaged in the research and design of innovative battery management systems. For the implementation of an advanced battery diagnostics to determine cell characteristics an additional equipment of the battery cell with measurement technology is required. Through the development and implementation of exact algorithms as possible the battery state variables can be determined from the measured data. Based on data analysis methods, the collected data can be instantaneously analyzed and provided for the control of power electronics.

### **Mess- und Modellierungsverfahren zur Charakterisierung von Lithium-Ionen-Batterien**

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

Eine umfassende Zustandsdiagnose von Batteriezellen während des Betriebes stellt hohe Anforderungen an die Mess- und Diagnostik. Dynamische Messungen mit Wechselgrößen, wie bei der elektrochemischen Impedanzspektroskopie sind ebenso einsetzbar wie die Zustandsdiagnose mittels Impulsantwortverfahren und anschließender FFT-Analyse. Damit eine Zustandsbewertung einer Batterie möglich ist, werden Modelle im Batteriemanagementsystem hinterlegt, welche auf Basis von Messdaten unter Laborbedingungen parametrisiert sind. Für die Modellbildung von Lithium-Ionen-Batterien existieren viele unterschiedliche Ansätze, die auf physikalischen, elektrochemischen oder mathematischen Modellen beruhen, wobei

sich die Verwendung von elektrischen Ersatzschaltbildern am Weitesten etabliert hat. Die Ersatzschaltbilder variieren jedoch in der Wahl, Anzahl und Verschaltung der diskreten Bauelemente. Ohne auf die spezifischen Anforderungen einzelner Anwendungsfälle einzugehen, wird der Fokus auf der möglichst genauen Nachbildung der Batteriecharakteristik gelegt. Aus der Verwendung des Messverfahrens und der Komplexität der eingesetzten Batteriemo-

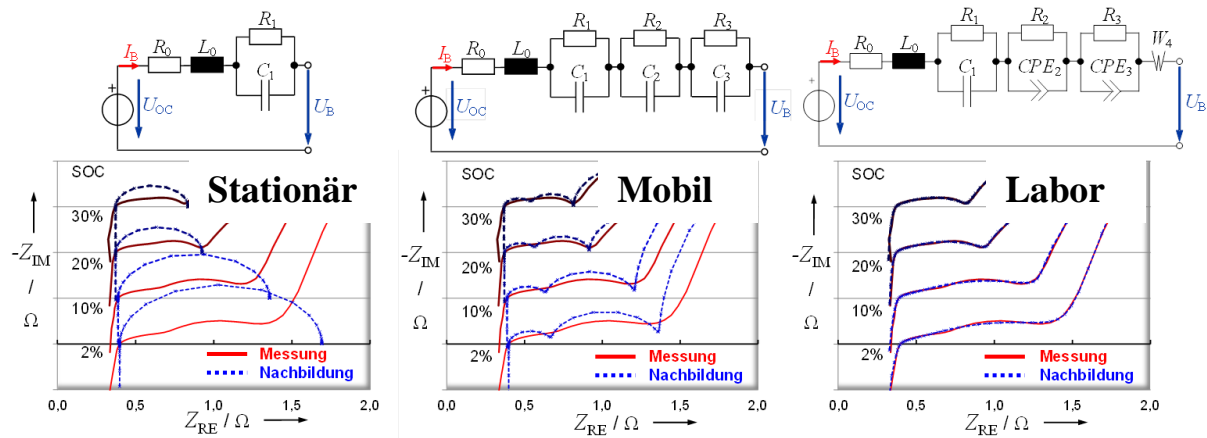


Abbildung 13: Impedanzspektren zur ESB-Parametrierung von Li-Ionen Batterien

Figure 13: Impedance spectra for ESB-parameterization of Li-ion batteries

delle lassen sich optimale Kombinationen ableiten. Diese werden erreicht durch die Berücksichtigung der Rahmenbedingungen des jeweiligen Anwendungsfalls, wie in der Elektromobilität, aber auch bei der Zustandsdiagnose von stationären Speichern (siehe Abbildung 13). Im Rahmen des Graduiertenkolleg GEENI (Graduiertenkolleg Energiespeicher und Elektromobilität Niedersachsen) werden am elenia Impedanzspektren zur Charakterisierung von Batteriezellen gemessen, um damit 1D- bis 3D-Batteriemodelle zu parametrieren und validieren. Diese Modelle werden in der Arbeitsgruppe Modellierung erstellt, welches aus einem kleineren Konsortium der insgesamt 30 Doktoranden besteht. Die Batteriezellen für die messtechnischen Untersuchungen werden in der neu entstandenen BLB (Battery LabFactory Braunschweig) selbst hergestellt. Mit der BLB wurde eine in Norddeutschland einzigartige (Forschungs-) Produktionslinie zur Fertigung von Li-Ion-Batterien aufgebaut. Sie besteht aus einem Institutsverbund der TU Braunschweig aus dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Physikalischen Chemie. Zur Rückführbarkeit der Diagnoseprozesse wurde die PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) in das Konsortium mit aufgenommen.

## **Measurement and modelling techniques for the characterization of lithium-ion-batteries**

*Uwe Westerhoff, M.Sc.*

A comprehensive state diagnosis of battery cells during operation makes high demands on the Measurement and Diagnostic Technology. Dynamic measurements with changing variables such as in the electrochemical impedance spectroscopy are also used as the condition diagnosis using impulse response method and subsequent FFT analysis. In order for a state rating of a battery is possible models are stored in the battery management system, which are configured on the basis of measurement data under laboratory conditions. In the literature, many different approaches are selected from physical, electrochemical and mathematical models for modeling of lithium-ion batteries, with the use of electric equivalent circuits has established the farthest. However, the equivalent circuits vary in the election, the number and connection of discrete components. Without going into the specific requirements of individual applications, the focus is placed on the most accurate replica of the battery characteristics. For measuring methods and battery model, optimal combinations can be derived. This can be achieved by considering the conditions of the particular application, such as in electric mobility, but also in the state diagnosis of stationary store. (see Figure 13) In context of the Graduate School GEENI (Graduate School of energy storage and electric mobility Niedersachsen) the elenia measured impedance spectra for the characterization of battery cells in order to parameterize 1D to 3D battery models. These models are created in the working group modeling, which consists of a small consortium of 30 doctoral students. The required battery cells are produced itself in the newly formed BLB (Battery LabFactory Braunschweig). The BLB is a unique (research) production line for the manufacture of lithium-ion batteries in northern Germany. It consists of a network of institutes of the TU Braunschweig from mechanical engineering, electrical engineering, physical chemistry and the PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

### **3.3 Energiemanagement – Energy Management**

#### **Energiemanagement im Smart Home unter besonderer Berücksichtigung von Mehrfamilienhäusern**

*Stephan Diekmann, M.Sc.*

Deutschland und die Europäische Union haben zum Ausbau der erneuerbaren Energien konkrete Ziele definiert. Bis zum Jahr 2050 ist ein Anteil von mindestens 50 Prozent am Primärenergieverbrauch vorgesehen. Diese grundlegenden Veränderungen bei der Erzeugung und Bereitstellung elektrischer Energie machen einen Paradigmenwechsel notwendig. Die Last muss zukünftig immer mehr der zunehmend volatilen Erzeugungssituation angepasst werden. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bilden einen Schlüsselfaktor bei dieser Harmonisierung von Erzeugung und Verbrauch.

Für das Gesamtkonstrukt Smart Grid gilt es mittels intelligenter Vernetzung über alle Netzebenen Energiemanagement zu betreiben und somit die Versorgungssicherheit zu maximieren sowie parallel den Ausbaubedarf des Energieversorgungsnetzes möglichst gering zu halten.

Auch auf Haushaltsebene soll zukünftig in sogenannten Smart Homes mittels umfassender datentechnischer Vernetzung Energiemanagement betrieben werden. Mehrfamilienhäuser bieten dabei besondere Potenziale.

In diesen Kontext gliedert sich die Forschungsthematik ein. Unterschiedliche Erzeuger, Speicher und Verbraucher werden im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte hinsichtlich ihrer IKT-Anbindung und Steuerbarkeit betrachtet (vgl. Abbildung 14). Der Betrachtungshorizont reicht von Aspekten wie der Eigenverbrauchsmaximierung oder Energiekostenreduktion sowie weiteren Optimierungszielen über Kommunikationskanäle, Protokollvarianten und damit verknüpfte Datenmengen bis hin zu Steuerungs- und Anwendungsszenarien. Es werden einzelne Komponenten sowie deren Verbund betrachtet.



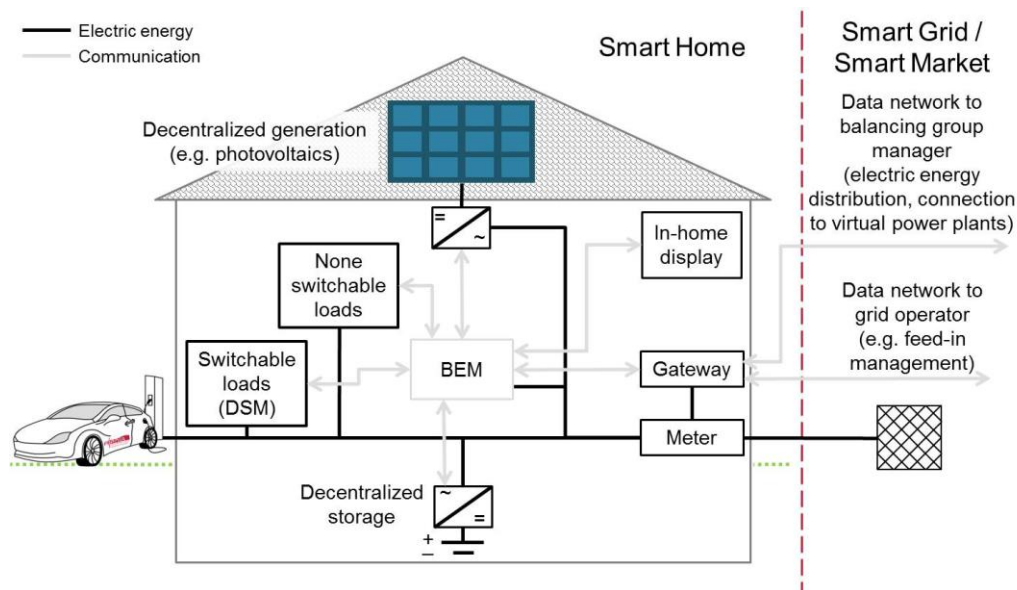


Abbildung 14: Struktureller Aufbau des Managementsystems

Figure 14: Structure of the management system

## Energy management in Smart Homes with particular consideration of apartment buildings

*Stephan Diekmann, M.Sc.*

Germany and the European Union have defined specific goals for the expansion of renewable energies. By 2050 a share of at least 50 percent in primary energy consumption is intended. Influenced by these fundamental changes in the generation and the supply of electric energy a paradigm shift becomes necessary. In the future the load must be adapted to the increasingly volatile production situation. Information and communication technologies (ICT) form a key factor in this harmonization of production and consumption.

In terms of Smart Grids, it is essential to operate energy management using intelligent interconnection in all network levels. Thus the security of supply is maximized and simultaneously the need for expansion of the power grid is minimized. Even at the household level energy management is to be operated in so-called Smart Homes using comprehensive data networks. Apartment buildings offer special potential.

In this context the research topic is integrated. Different types of generators, storages and loads are considered in the context of several research projects in terms of their ICT connectivity and controllability (Figure 14). The perspective ranges from aspects such as own consumption maximization or energy cost reduction and other optimization goals over communication channels, protocol versions and associated data sets up to control and application scenarios. There are individual components and their interconnection considered.

## Modellierung und Steuerung von Energieflüssen in Wohnquartieren

*Christian Reinhold, M.Sc.*

Die Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen als auch innovativen Verbrauchern (Wärmepumpe und Elektroauto) und elektrischen Speichern erfreuen sich heutzutage und in Zukunft immer größerer Beliebtheit im Hausbereich. Die Komponenten werden aktuell meistens als Stand-Alone-Systeme ohne zentrale Steuerung durch ein aktives Energiemanagement betrieben. Der vermehrte Einsatz von optimierten Betriebsstrategien kann in diesem Zuge die Energieeffizienz steigern und wirtschaftliche Potentiale für den Nutzer erschließen.

In Vorbereitung auf den praktischen Einsatz müssen Energiemanagementsysteme und deren Steuerungsalgorithmen rechnergestützt beschrieben und simuliert werden. Dazu werden Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen, die einen wesentlichen Einfluss auf den elektrischen Verbrauch besitzen, in ihren Eigenschaften und Funktionsweisen nachgebildet. Ein geeignetes Verfahren hierfür ist ein stochastisches Bottom-up Modell, bei dem jede einzelne Komponente mit dem nutzerabhängigen Verhalten verknüpft wird. Dadurch entstehen stochastisch variierte Zeitreihen von elektrischen Leistungswerten, die zu einem gemeinsamen Hausanschlussprofil aufsummiert werden. Diese beschriebene Methodik ist ergänzend in der Abbildung 15 dargestellt.

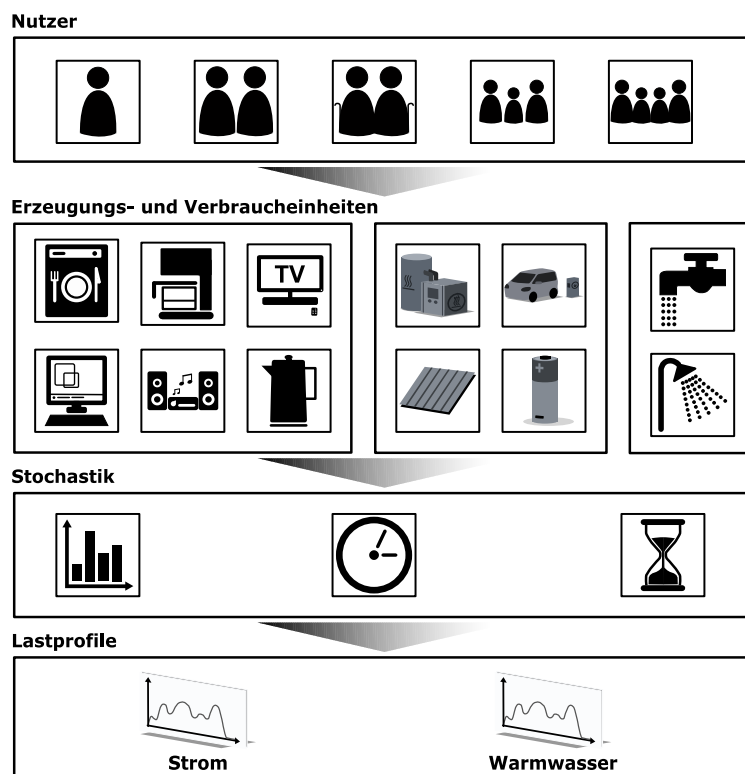


Abbildung 15: Stochastisches Bottom-up Modell

Figure 15: Stochastic bottom-up approach

Nachdem die Einzelkomponenten modelliert wurden, erfolgt die Zusammenführung in einem modular aufgebauten Energiemanagementsystem (EMS). Das EMS benötigt für jeden Simulationsschritt Informationen über die angeschlossenen Komponenten, so dass die Steuerung entsprechende Schalthandlungen durchführen kann. Die Energieflüsse im Wohnquartier werden gezielt beeinflusst und optimiert. Mit Hilfe der implementierten Betriebsstrategien können verschiedene Präferenzen (Netzdienlichkeit, Eigenverbrauchsoptimierung und Erlösmaximierung) in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und technische Realisierbarkeit untersucht werden. Abbildung 16 stellt ergänzend die notwendigen Datenaustauschprozesse zwischen den Komponenten und dem EMSs dar.

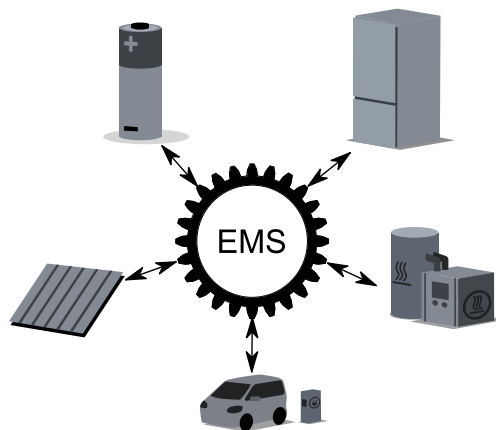


Abbildung 16: Energiemanagementsystem

Figure 16: energy management system

Die gesammelten Erkenntnisse können in die zukünftige nachhaltige Niederspannungsnetzplanung integriert werden und wirtschaftliche Potenziale von Energiemanagementsystemen aufdecken. Für den Hausbesitzer kann eine intelligente Steuerung seiner Komponenten die Energieeffizienz erhöhen und somit zur Reduzierung der Kosten führen.

### **Modelling and Controlling of energy flows in residential quarters**

*Christian Reinhold, M.Sc.*

The integration of decentralized power plants such as photovoltaic systems and innovative consumers (heat pump and e-car) and electrical storage systems enjoy more and more the growing enthusiasm today and in future in private households. The components were operated mostly as stand-alone-systems without any center control in form of an active energy management system. The widespread use of optimized operation strategies can increase the energy efficiency and use the economic potentials for the user.

To review energy management systems it's necessary to transfer the existing electrical components to computer-based models and connect these to a central control system. Afterwards it's possible to realise economic and technical analyses.

## Belastungsannahmen für Niederspannungsnetze auf Basis hochauflösender Messdaten

*Michael Wiest, M.Sc.*

Bei der bisherigen Netzplanung werden im Bereich der Niederspannungsnetze kaum Lastangaben für einzelne Haushalte benötigt. An Netzknoten wird die Last anhand einer Abschätzung mithilfe des SLP bestimmt. Diese Erfahrungswerte stellen in der Regel die maximal erwartete Last dar und führen zu einer Überdimensionierung der Niederspannungsnetze. Aus heutiger Sicht ist diese Herangehensweise durch ein verändertes Lastverhalten und dem steigenden Kostendruck aufgrund der ARegV nicht mehr zeitgemäß. Auch darf in ländlichen Niederspannungsnetzen die Erzeugungsleistung nicht vernachlässigt werden.

Aktuelle Forschungsarbeiten zu diesem Thema beschäftigen sich oft mit der Nachbildung einzelner Haushaltslasten anhand synthetischer Lastprofile, Messdaten sind meist nur in 15-min Auflösung und über kurze Zeiträume vorhanden. Um den hohen Arbeits- und Rechenaufwand für die Netzplanung zu reduzieren, soll in dieser Arbeit ein neuer Ansatz verfolgt werden. Dabei werden anonymisierte Messdaten einzelner Haushalte und PV Anlagen ausgewertet, die über ein Jahr aufgezeichnet wurden. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die gewonnene Datengrundlage:

Tabelle 1: Datenbasis zur Auswertung von Belastungskennzahlen

Table 1: Datasocket for loading figures

Anzahl Haushalte	147
Anzahl PV Anlagen	24
Auflösung der Messdaten	5 - 10 s
Aufzeichnung	E, P (3~), Q (3~), S (3~), U (3~), I (3~)

Diese Datenbasis ermöglicht es, das Last und Erzeugungsverhalten einzelner Haushalte auf eine außerordentlich genaue Weise zu analysieren. Durch Regressionsrechnung und Clusteranalyse werden die Daten ausgewertet. Speziell die Korrelation von Lastprofilen mit den zugehörigen Erzeugungsprofilen führt zu einer klaren Belastungsaussage für die Netze. Anhand von Wahrscheinlichkeiten werden diese Ereignisse weiter bewertet und Lastfaktoren für einzelne Haushalte gebildet.

Durch die Clusterung verschiedener Belastungsannahmen können aus der sehr hohen Anzahl von Einzelwerten, wenige charakteristische Belastungswerte generiert werden.

Es zeigt sich, dass mit den neuen Belastungsannahmen eine effizientere Netzplanung möglich wird, da Belastungsreserven im Netz besser ausgenutzt werden. Das Ergebnis der Netzbe-rechnung spiegelt ein ganzes Jahr wieder, beruht allerdings auf nur sehr wenigen Berechnungsdurchläufen. Des Weiteren wird dadurch ein neuer Weg in Bezug auf die Nutzung von Smart-Meter Daten eingeschlagen.

## **Load presumption for low-voltage networks on the basis of high-resolution meter-data**

*Michael Wiest, M.Sc.*

By now planning processes for low-voltage networks considered only a little number of load-specifications. Loads at network-nodes are estimated on the basis of standardized load profiles. These empirical values lead usually to an oversizing of the networks. With nowadays changed load behavior and the rising cost pressure this strategy becomes no more appropriate. On top of this, in rural areas the rising generation of renewable energy has to be considered in network planning.

In many research projects, load profiles for single households are simulated with partly very high resolution which leads to a high computational and administrative effort in the planning process. To reduce this, a unique set of high-resolution meter-data over a year, see Table 1, is analyzed in this work.

The data is analyzed using regression and cluster methods. Especially the correlation of load profiles with the corresponding generation profiles leads to evident network load predications. Based on probabilities, these results are adapted for single households.

By clustering the results, only few characteristic load values are generated out of the whole data set of single time values. Using this new load estimations allows a more effective network planning procedure and helps to reach more efficient usage of the installed network equipment.

The advantages of a whole year network calculation are so reproduced calculating only few characteristic steps. This reduces the planning effort and administrative costs. Further a new way of usage of smart meter data is represented.

## **Energiewirtschaftliche Integration von PV-Speichersystemen unter Einsatz innovativer Messsysteme**

*Dipl.-Ing. (FH) Frank Soyck, M.Eng.*

Immer mehr private Haushalte in Deutschland nutzen Photovoltaik (PV) Speichersysteme. Es gibt viele Anwendungsbereiche für die simultane Nutzung dieser Speichersysteme, sowohl für private Zwecke als auch durch die Bereitstellung von Speicherkapazität für die Energiewirtschaft. Für die simultane Mehrfachnutzung des Speichersystems wird ein neues Messsystem benötigt, das in der Lage ist, Abrechnungsdaten für virtuelle Zählpunkte in Echtzeit zu erzeugen. Die simultane Mehrfachnutzung von PV-Speichersysteme in diesem Zusammenhang ist die Überlassung von unterschiedlichen Anteilen des Speichersystems an einen Dritten (Contractor). Ein innovatives Messkonzept wird in dem Verbundforschungsvorhaben "PV-Speicherzähler" durch ein interdisziplinäres Konsortium untersucht. Dieses Messkonzept berechnet Abrechnungswerte für virtuelle Zählpunkte in Echtzeit. Abbildung 17 stellt alle Energieflüsse eines Haushalts mit einer PV-Anlage und einem simultan genutzten elektrischen

Energiespeicher dar. Beide Parteien (Contractor und Haushalt) verwenden die ihnen zugewiesenen Speicherkapazität unabhängig. Die Zuteilung der Anteile ändert sich dynamisch mit der Zeit (horizontaler Pfeil). Der Ladezustand (SoC) wird für jeden Teil getrennt bestimmt (vertikale Pfeile).

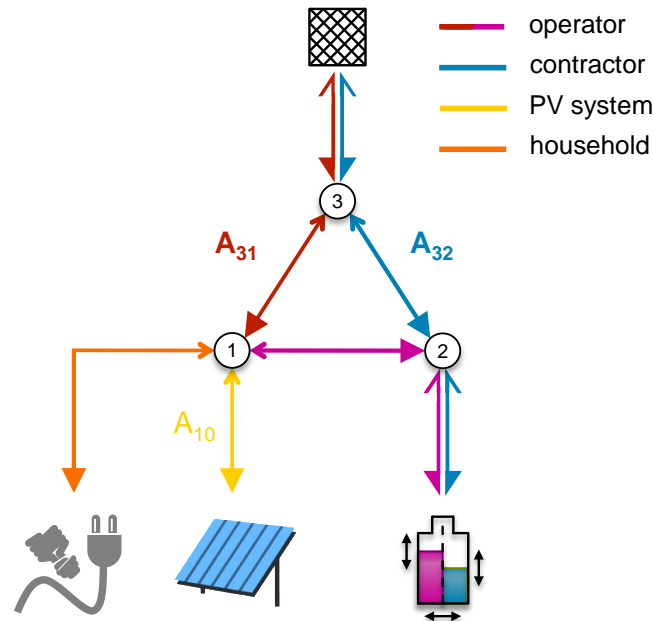


Abbildung 17: Schematische Darstellung der simultanen Mehrfachnutzung von PV-Speichersystemen

Figure 17: Schematic diagram of simultaneous multiple use of PV storage systems

Relevant für die Abrechnung ist der Energiefluss des Anlagenbetreibers  $A_{31}$  und des Contractors  $A_{32}$  vom oder zum Netzanschlusspunkt. Die einzelnen Energieflüsse, die durch den Mehrfachzugriff auf das Batteriesystem verursacht werden, können nicht direkt gemessen werden, sondern werden vor Ort in Echtzeit durch arithmetische Operationen auf Grundlage von Messwerten gebildet.

### Integration of PV storage systems into the energy sector using innovative measurement systems

*Dipl.-Ing. (FH) Frank Soyck, M.Eng.*

More and more private households in Germany use photovoltaic (PV) storage systems. There is a wide range of applications by using these storage systems simultaneously for private purposes and also by providing storage capacity for the energy sector. For the simultaneous multiple use of the storage system a new measurement system is needed that is able to generate billing values for virtual meter points in real time. Simultaneous multiple use of PV storage systems in this context is the leasing of varying proportions of the storage system to a third party (contractor). An innovative measurement concept is being investigated in the joint re-

search project “PV-Speicherzähler” by an interdisciplinary consortium. This metering concept calculates billing values for virtual meter points in real time. Figure 17 represents all energy flows of a household with a PV system and a simultaneously used electrical energy storage system. Both parties (contractor and household) use their assigned storage capacity independently. The allocation of shares changes dynamically over time (horizontal arrow). The state of charge (SoC) is determined separately for each portion (vertical arrows).

Relevant for billing is the energy flow of the system operator  $A_{31}$  and the contractor  $A_{32}$  from or to the grid connection point. The individual energy flows caused by the multiple access to the battery system cannot be measured directly, but are formed on site in real time by arithmetic operations based on measured values. Laboratory tests and field test are currently conducted to prove this measurement concept.

### **Referenz- Steuer- und Messsatz zur Eichung innovativer Energiemesssysteme**

*Florian Schilling, M.Sc.*

In den letzten Jahren hat der Ausbau der Erneuerbaren Energien, insbesondere von Photovoltaik Systemen, in Privathaushalten und Kleinunternehmen stark zugenommen. Die Einspeisevergütung für den erzeugten Strom ist jedoch immer mehr gesunken, sodass es sinnvoll ist, den erzeugten Strom selbst zu nutzen und immer mehr Erzeugungsanlagen mit einem Speichersystem ausgestattet werden. Die Wirtschaftlichkeit solcher Systeme kann durch eine Mehrfachnutzung des Energiespeichers verbessert werden. Für diese Simultane Mehrfachnutzung wird jedoch ein Messsystem benötigt, dass es ermöglicht, abrechnungsrelevante Daten aus mehreren Energiezählern in Echtzeit zu erzeugen. Dieses neuartige Messsystem unterliegt, wie die Energiezähler selber, dem Eichgesetz und muss den gleichen Anforderungen standhalten. Um eine Überprüfung des Systems zu ermöglichen, muss hierfür eine neuartige Referenzumgebung geschaffen werden. Der Aufbau und die Rückführung einer solchen Referenzumgebung erfolgt im Rahmen des Projekts in der PTB in Braunschweig.

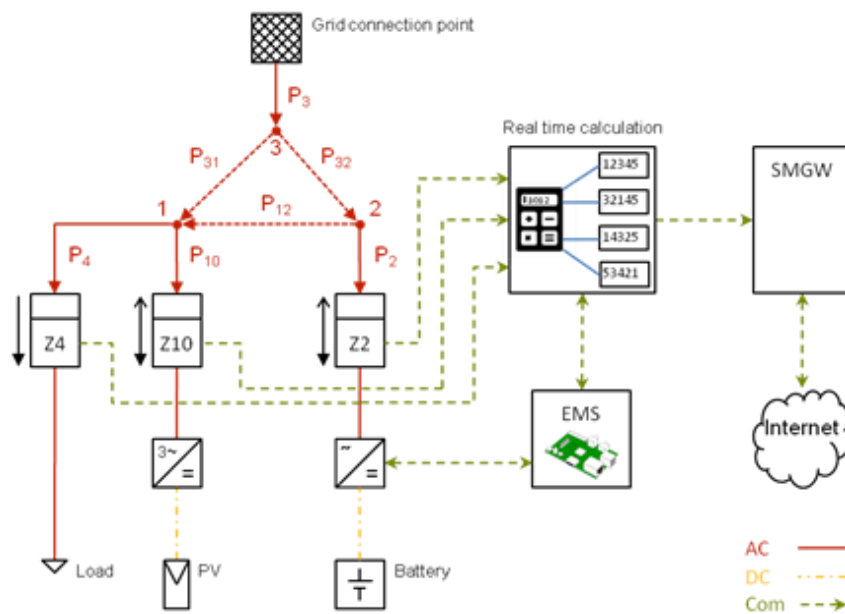


Abbildung 18: Schematische Darstellung des Messsystems für die Mehrfachnutzung von elektrischen Energiespeichern

Figure 18: Schematic representation of the measuring system for multiple use of electric energy storage systems

### Test environment for calibration of innovative measurement systems

*Florian Schilling, M.Sc.*

In recent years more and more private households and small enterprises use renewable energies, in particular photovoltaic systems. However, the feed-in tariff for the electricity generated is more and more on the decrease while the domestic electricity prices continue to rise, so that it makes more sense to install PV storage systems in each household to optimize the self-consumption of PV systems. The efficiency of such systems can be improved by using these storage systems simultaneously for private purposes and also providing storage

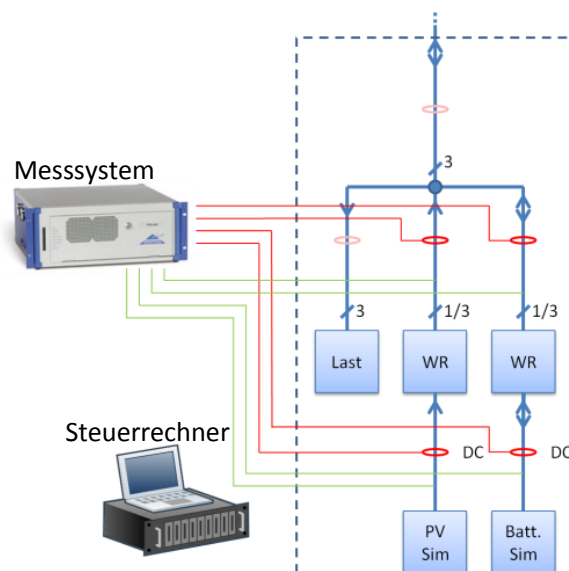


Abbildung 19: Simulationsumgebung zur Erzeugung von Energieflüssen sowie Messsysteme zur Leistungsbestimmung

Figure 19: Simulation environment for the generation of energy flows, as well as power measuring systems



capacity for the energy sector. For this purpose, a new measurement system is needed, which is able to generate billing values for virtual meter points in real time by using relevant data from multiple energy meters. This new measuring system has to fulfill the same requirements of the “Weights and Measures Act”, which applies to the energy meters itself. To verify the correct billing of the measuring system a metrological confirmation system for measuring equipment is needed. The construction of the test environment and the reference standard is part of the project of the PTB (German National Metrology Institute) in Braunschweig.

### Energiemanagement für PV-Speichersysteme mit mehrfach simultan genutzten Batteriespeichern

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

Die Anzahl kleiner, dezentraler Batteriespeicher in Privathaushalten als Ergänzung zur PV-Anlage ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Dies ist nicht zuletzt dem Marktanzreizprogramm der KfW zuzuschreiben. Diese Speicher werden vorwiegend mit dem Ziel angeschafft, den Eigenverbrauch zu steigern und unabhängiger von der Strompreisentwicklung zu werden. Allerdings werden diese Speicher nur einen kleinen Teil der Zeit vollständig genutzt. In Abbildung 20a) ist der Speicherfüllstand (SoC) im Verlauf eines Jahres bei Eigenverbrauchsoptimierung exemplarisch am Beispiel eines Haushaltes dargestellt, der mit einer PV-Anlage mit einer Peakleistung von 4 kW und einem Speicher mit einer Kapazität von 4,5 kWh ausgestattet ist und einen Jahresverbrauch von 4500 kWh/a aufweist. Die weißen Flächen zeigen die Zeiten, an denen der Speicher leer ist.

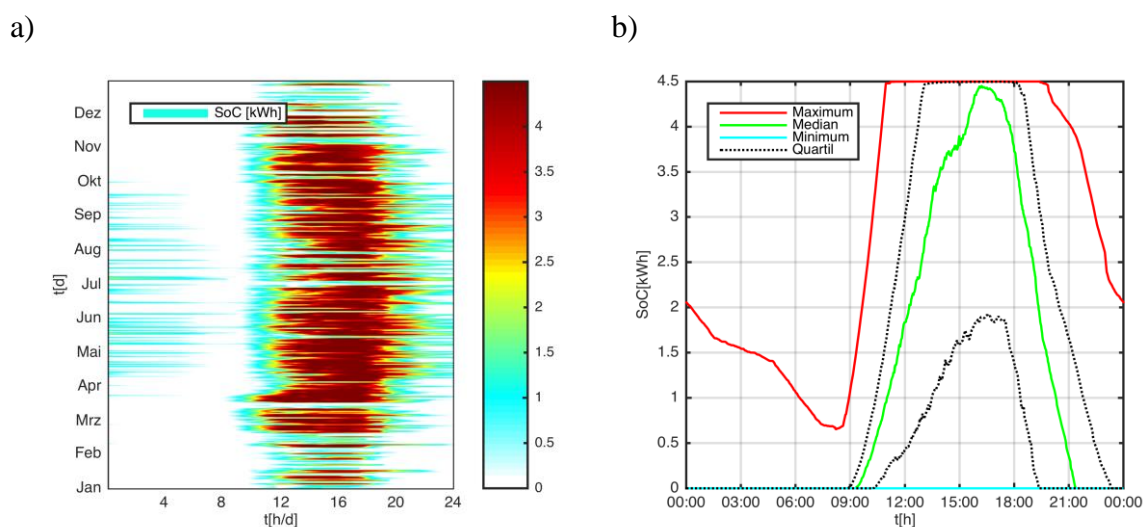


Abbildung 20: a) Speicherfüllstand (SoC) im Verlauf eines Jahres b) Verteilung der Speicherfüllstände (SoC) im Tagesverlauf

Figure 20: a) State of Charge (SoC) during a year b) Distribution of State of Charge (SoC) during the day

Abbildung 20b) zeigt die Verteilung der Speicherfüllstände eines Haushaltes im Tagesverlauf. Bei konventioneller Betriebsweise ist der Speicher in der Zeit von 21:30 bis 9:15 Uhr an mehr als der Hälfte der Tage vollständig entleert (grüne Linie) und der Speicher ist in der Zeit von 13 bis 18 Uhr an mehr als 90 Tagen im Jahr vollständig gefüllt (obere gepunktete Linie). In diesen ungenutzten Zeiträumen können durch Überlassung an Dritte (Energiehändler oder Betreiber von virtuellen Kraftwerken) zusätzliche Einnahmen erzielt werden. Es existieren bereits Überlegungen, kleine Haushaltsspeicher zu aggregieren und in virtuellen Kraftwerken zusammenzuschließen. Anbieter wie LichtBlick oder SENECS bieten entsprechende Geschäftsmodelle an. Diese Konzepte ermöglichen allerdings nur eine sequenzielle Mehrfachnutzung. Das heißt, dass der Speicher zu einem Zeitpunkt nur entweder vom Anlagenbetreiber oder von einem Dritten genutzt werden kann. Für die simultane Mehrfachnutzung von Speichern, bei der Anlagenbetreiber und Dritter gleichzeitig den Speicher nutzen können, wurden für das Projekt PV-Speicherzähler bekannte Messkonzepte weiterentwickelt, die verschiedenen Energiebezüge und -lieferungen zwischen den relevanten Energiequellen und -senken einzeln messbar und abrechnungsfähig machen.

### **Energy management for PV storage systems with simultaneously used battery storage units**

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

Distributed PV storage systems are mainly used for optimization of self-consumption. However, these storage units remain unused to many hours of a day. In Figure 20a) the state of charge (SoC) during the year of an exemplary household is shown. The white areas show the times at which the storage unit is empty. Figure 20b) shows the distribution of state of charge (SoC) during the day. In the conventional mode of operation, in the period from 21:30 until 9:15 clock the storage unit is more than half of the days completely empty (green line) and in the period 13 to 18 clock on more than 90 days a year the storage unit is completely filled (upper dotted line). In order to generate additional revenue, unused parts of the storage system can be made available to third parties. The integration of distributed storage systems in virtual power plants currently offers just the possibility of sequential multiple use and possible modes of operation are restricted. The project “PV-Speicherzähler” offers solutions for the simultaneous use of PV storage systems.

## Messtechnische Untersuchung von PV-Batteriespeichern

Hauke Loges, M.Sc.

Die Speicherung von PV-Strom in privaten Haushalten erlangte in den letzten Jahren zunehmend Bedeutung. Die garantierte Einspeisevergütung für PV-Strom liegt mittlerweile unterhalb des Strombezugspreises (grid-parity), wodurch der Eigenverbrauch rentabler als die Einspeisung in das Netz wird. Mit Batteriespeichern lässt sich dieser Eigenverbrauch signifikant erhöhen. In anderen Bereichen (sämtliche elektrische Verbraucher) wird die Energieeffizienz anhand eines Umweltlabels gekennzeichnet, das mittels Farbabstufung die Effizienz eines Gerätes darstellt. Bei Batteriespeichern fehlen diese Kennzeichnungen gänzlich, wodurch dem Verbraucher beim Kauf keinerlei Anhaltspunkte gegeben werden. Hinzu kommt, dass die Wirkungsgradangaben der Hersteller oft intransparent sind und diese keiner einheitlichen Definition unterliegen. Oftmals ist zum Beispiel nicht klar, ob es sich bei der Angabe um einen Gesamtwirkungsgrad handelt oder nur Lade-/Entlade- bzw. Lade- und Entladeverluste ausgewiesen sind.

Bei der Nutzung einer PV-Batterie entstehen zusätzliche Energieverluste. Dies liegt einerseits an den Wandlungs- und Batterieverlusten, die beim Ein- und Auspeichern entstehen, und andererseits an den Grund bzw. Leerlaufverlusten. Die Wandlungsverluste steigen (absolut) mit zunehmender PV-Anlagengröße und mit zunehmender Speicherkapazität. Grund hierfür ist die zunehmende Nutzung des Speichers. Der Eigenbedarf der Batterie, der zum Teil auch aus dem Netz bezogen wird, wird als sogenannter Grund- bzw. Leerlaufverlust bezeichnet. Hierzu zählen neben der Selbstentladung auch die benötigte Energie für den Stand-by Betrieb und für die Elektronik.

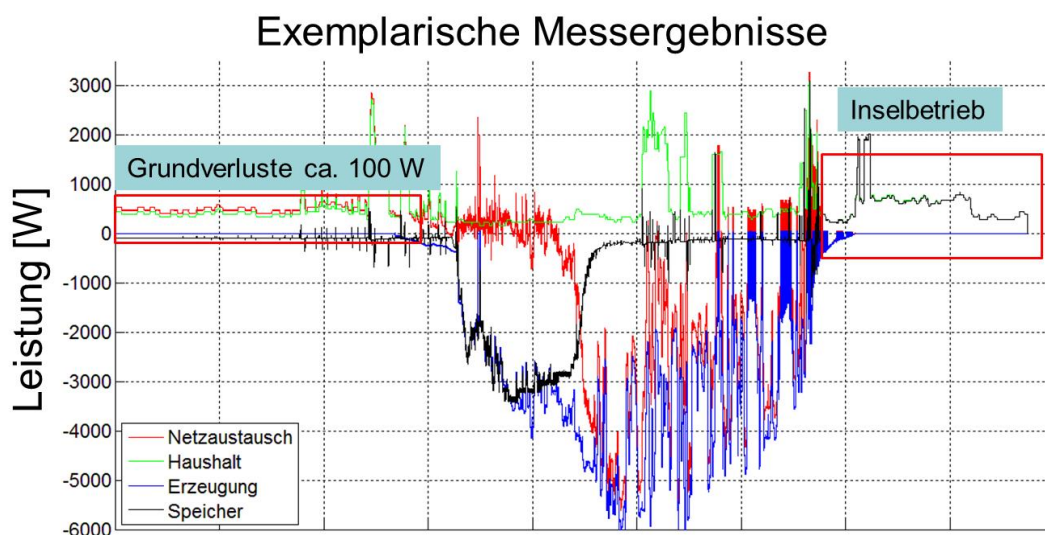


Abbildung 21: Exemplarische Messergebnisse

Figure 21: Exemplary measurement results

Exemplarische Messergebnisse werden in der Abbildung 21 dargestellt. Zugrunde liegt ein Haushalt mit ca. 4.000 kWh Jahresbedarf mit einer 6 kWp Anlage. In grün bzw. in blau ist die Haushaltslast bzw. die Erzeugung aufgetragen. Rot dargestellt ist die sich tatsächlich ergebende Netzaustauschleistung. Auffällig ist hier bereits, dass in der Nacht und bis zu Beginn der PV-Erzeugung, der Netzbezug oberhalb der Haushaltslast liegt. Zurückzuführen ist dies auf den bereits angesprochenen Netzbezug des Speichers. Im Mittel ergibt sich hier eine Leistung von ungefähr 100 W. Schwarz dargestellt ist die Eingangsleistung des Speichers. Sehr schön erkennbar ist, dass der Speicher sich sehr schnell lädt und bereits deutlich vor der Mittagsspitze keine Energie mehr aufnehmen kann. Nach der PV-Erzeugung ist keine Netzaustauschleistung mehr erkennbar. Hier trennt der Speicher den gesamten Haushalt vom Netz und geht in den Inselbetrieb.

### **Examination of PV-Batteries**

*Hauke Loges, M.Sc.*

The storage of PV electricity in households became more important in recent years. The guaranteed feed-in tariff for photovoltaic electricity is lower than the electricity price (grid parity) now. The self-consumption will be more profitable than feeding into the grid. With batteries this self-consumption can be increased significantly. The increasing of the self-consuming is addicted to the storage efficiency relating to inject into or out auf the battery. In other fields (all electrical consumer), the energy-efficiency is marked by an environmental label. There are no labels for batteries. In addition to that the product information of the manufacturers is often intransparent.

Exemplary measurement results are shown in Figure 21.

### **Der Nutzwert von Elektrofahrzeugen für die Energieversorgung**

*Dipl.-Phys. Mathias Kammerlocher*

Die intelligente Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Stromnetz eröffnet neue Perspektiven für die Automobilindustrie. So können optimierte Ladezeiten zur Vermeidung von Lastspitzen oder der Integration fluktuierender erneuerbarer Energien ins Stromnetz beitragen. Der Einsatz als Pufferspeicher im Rahmen eines Smart Grid bietet die Möglichkeit zur Bereitstellung von Regelleistung (Projekt INEES). Um dieses Potential auszuschöpfen sind optimierte Ladestrategien nötig, welche Prognoseungenauigkeiten und Batteriealterungskosten berücksichtigen.

Es werden intelligente Strategien zur Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Energiewirtschaft untersucht. Es wird dazu ein MATLAB/Simulink-Modell aufgebaut, welches aufgrund von Prognosen über das Nutzerverhalten von Elektrofahrzeugkunden im Voraus optimale Ladestrategien für die Einbindung der Batterie in den Strommarkt berechnet und in Echtzeit

dynamisch auf sich ändernde Parameter reagiert. Dadurch lassen sich verschiedene Szenarien wie PV-optimiertes Laden, die Beschaffung am Spotmarkt bis hin zu kurzfristigen Regelleistungsabrufen abbilden und hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit vergleichen.

### **The benefit of electric vehicles for the energy sector**

*Dipl.-Phys. Mathias Kammerlocher*

A major challenge for future electric car fleets is the integration into the electric distribution grid. However, the batteries offer a high storage potential. Since electric vehicles are typically parked most of the time, the capacity and energy of EVs can be used to provide Services on the energy market. For instance, coordinated charging of a large number of EVs can balance short term variations of demand and supply in the electricity grid. In our work, we analyze different charging strategy of electric vehicles for grid integration.

### **Einbindung von Elektrofahrzeugflotten in die bestehenden Energiesysteme**

*Jan Mummel, M.Sc.*

Das im Rahmen des Projektes Fleets Go Green entwickelte Ladesystem elias befindet sich aktuell in der zweiten Erprobungsphase. Ziel des Systems ist die gezielte Integration von Elektrofahrzeugflotten in die bestehenden Energiesysteme. Die Flotten werden dabei unter Berücksichtigung verfügbarer Erzeugungskapazitäten, Lastrestriktionen sowie ökonomischer und ökologischer Interessen eines Flottenbetreibers geladen. Die Lastrestriktionen, welche durch die begrenzte Kapazität in einem Netzabschnitt ermittelt werden, geben die maximale Ladeleistung, die der Flotte zur Verfügung steht, vor. Der Einsatz lokaler Erzeugungsanlagen verringert dabei die zu bereitstellende Ladeleistung vom Netz und erhöht den Anteil erneuerbarer Energien am Ladestrom. Seit Ende Oktober erfolgt die lokale Erzeugung, mit einer 10 kWp PV-Anlage sowie einem 10 kWh Energiespeicher, beim Projektpartner BS|Energy. Die Abbildung 22 stellt den Prozess zur Ermittlung eines Ladefahrplanangebotes dar.



Abbildung 22: Lokale Infrastruktur zum Laden der Elektrofahrzeuge.

Figure 22: Local infrastructure for charging electric vehicles.

### **Integration of the electric vehicle fleets into the energy system**

*Jan Mummel, M.Sc.*

The in the context of the project fleets go green developed charging system elias is currently in the second test phase. The aim of the system is the integration of electric vehicle fleets into the energy system. The vehicles are charged in consideration of various restrictions, namely the available energy capacities, the power on the grid connection and the users' requirements. The loading restrictions limit the charging current. The commitment of the local renewable energy reduces the necessary charging current from the grid and increases the proportion of renewable energy. Since October 2015, the test fleet is charging with a local 10 kWp photovoltaic system and a local 10 kWh energy storage in the project partner BS|Energy.

### **Potential von Streckendaten zur Optimierung von Plug-In-Hybrid-Betriebsstrategien**

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

Die flächendeckende Durchdringung des Personen-Individualverkehrs mit elektrischer Antriebstechnik stellt einen wichtigen Eckpfeiler der Elektromobilität dar. Immerhin 78% des auf den Transportsektor zurückzuführenden CO<sub>2</sub>-Ausstoßes stammen aus dem Straßenverkehr. Aus diesem Grund wird das Konzept „Plug-In-Hybrid“, als Brückentechnologie zwischen elektrischem und verbrennungsmotorischem Antrieb, in Zukunft an Bedeutung gewin-

nen. Aufgrund des im Vergleich zu Vollhybriden leistungsfähigeren elektrischen Motors und Energiespeichers ergeben sich neue Herausforderungen bei der Antriebssteuerung. Insbesondere der Einfluss der Betriebsstrategie – die das Zusammenspiel des elektrischen und verbrennungsmotorischen Antriebs steuert – auf den Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs ist enorm. Abbildung 23 zeigt dies über einen Vergleich von Norm-CO<sub>2</sub>-Ausstoß unterschiedlich stark elektrifizierter Fahrzeuge und dem exemplarischen Einfluss der Betriebsstrategie darauf (tatsächlicher Einfluss stark abhängig von Fahrzeugkonzept und zitierter Quelle).

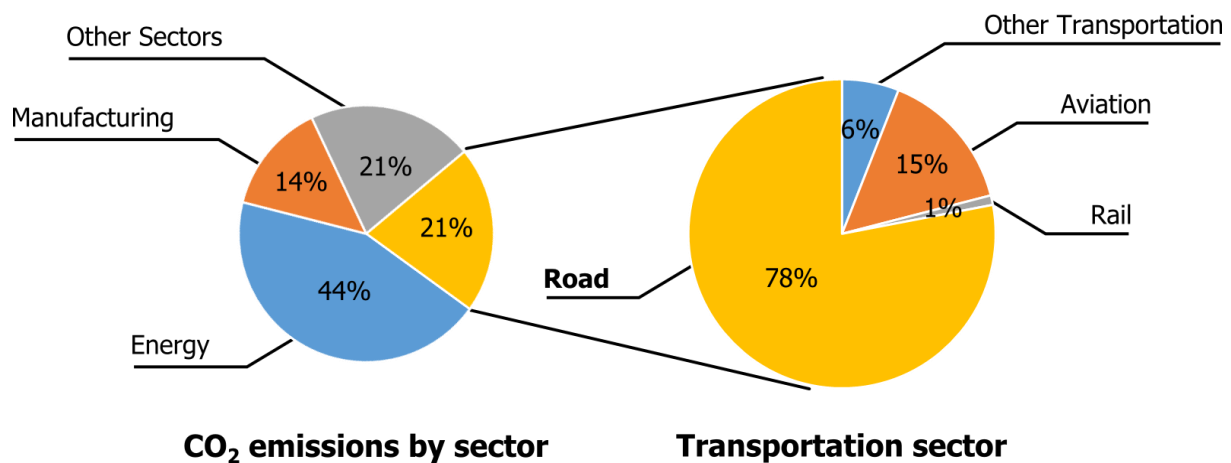


Abbildung 23: CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Erzeuger (2008)

Figure 23: CO<sub>2</sub>-emissions per sector

Besonderes Optimierungspotential ergibt sich dann, wenn die Betriebsstrategie Eigenschaften der vorausliegenden Fahrstrecke (Streckentypen, Ladestopps, Topologie etc.) berücksichtigt. Seit Anfang 2012 wird in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG Algorithmik zur Einbindung von Daten des Fahrzeug-Navigationsgerätes in die Betriebsstrategie zur Nutzung in Serienprojekten entwickelt.



In den ersten zwei Jahren wurden zunächst grundlegende Untersuchungen zu Optimierungspotentialen bei Plug-In-Hybriden unter Nutzung von Streckendaten sowie konzeptionelle Arbeiten und Simulationen durchgeführt. Außerdem wurde die vorläufige Algorithmen auf einem Prototypen-Motorsteuergerät umgesetzt und im Hardware-in-the-Loop-Aufbau auf ihre grundsätzliche Funktionalität hin getestet. In den letzten zwei Jahren fand die praktische Umsetzung statt.

Im Rahmen der praktischen Umsetzung wurden die während der Simulationsstudie erarbeiteten Hypothesen im Fahrversuch validiert und eine Serienapplikation für die Motorsteuergeräte-Software erarbeitet. In 2015 und 2016 wird es erste Auskopplungen der entwickelten Software-Lösungen in Serienprojekten des Volkswagen-Konzerns geben.

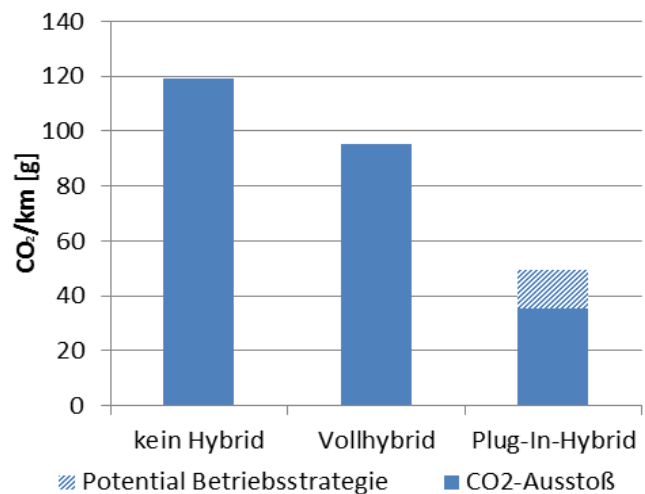


Abbildung 24: Norm-CO<sub>2</sub>-Ausstoß unterschiedlich stark elektrifizierter Fahrzeuge

Figure 24: CO<sub>2</sub>-emissions of vehicles incorporating different degrees of electrification

### Systemic approach to optimizing a Plug-In-Hybrid operating strategy using route data

*Dipl.-Ing. Jan Bellin*

Plug-In-Hybrid vehicles (PHEV) are a bridge technology towards electrification of individual road transport, which – as shown in Figure 23 – has a substantial part in Germany’s overall CO<sub>2</sub> emissions. Optimizing PHEV drivetrain control (its operating strategy) shows great potential for reducing the vehicle’s CO<sub>2</sub>-emissions as illustrated in Figure 24. If information on the route ahead is used, this potential is greater than when only the current drive state is regarded. Since 2012, an algorithm for using route information in the operating strategy of series production PHEV was developed in collaboration with the Volkswagen AG.

In the first two years, conceptual work and evaluation of potential when using route data in PHEV operating strategies was done and simulations were conducted. Furthermore preliminary software was realized on a prototype engine control unit and tested in a hardware-in-the-loop setup.

During 2014 and 2015, the work was transferred into a real world vehicle application. The hypotheses from simulation and conceptual studies were validated in test drives and a series production parameterization was generated. In 2015 and 2016 first series production vehicles will be equipped with software deriving from the above mentioned development activities.



## Nutzung thermischer Gebäudemassen einer PV-Strom betriebenen Wärmepumpe

Dipl.-Ing. Stefanie Koch

Um volatile Energie wie Solarenergie optimal nutzen zu können, soll im Folgenden gezeigt werden, wie diese vermehrt zur Aufheizung der Gebäudemasse verwendet werden kann. Hierzu wurde mit dem Simulationsprogramm TRNSYS das thermische Verhalten eines Einfamilienhauses untersucht, das mit einer Wärmepumpe beheizt wird, die durch eine hauseigene Photovoltaikanlage unterstützend gespeist wird. Für die direkte Aktivierung der Gebäudemasse wird eine Betonkernaktivierung (d.h. Anbringung der Rohrregister in Betonteile wie den Fußboden und die Decke) verwendet. Durch die Aufheizung des Gebäudes in Tageszeiten hoher solarer Stromproduktion und die anschließende Entladung der Gebäudemassen mit entsprechend verringertem Stromverbrauch wird eine Lastverschiebung unter Gewährleistung von Behaglichkeitskriterien realisiert. Die Lastverschiebung mittels Nutzung der thermischen Speicherfähigkeit von Gebäudemassen unterliegt jedoch gewissen Voraussetzungen: Massivbauweise, aufwendigeres Regelverfahren, optimale Dauer und Anzahl der Aufheizphasen.

Da die Speicherfähigkeit unter anderem von der vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Speichermasse abhängig ist, wird eine Anhebung der Soll-Raumlufttemperatur unter Anwendung einer Heizkurvenkorrektur von +10 °C immer dann vorgenommen, wenn die stündliche, gemittelte Leistung der PV-Anlage den Schwellwert von 0,5 kW überschreitet.

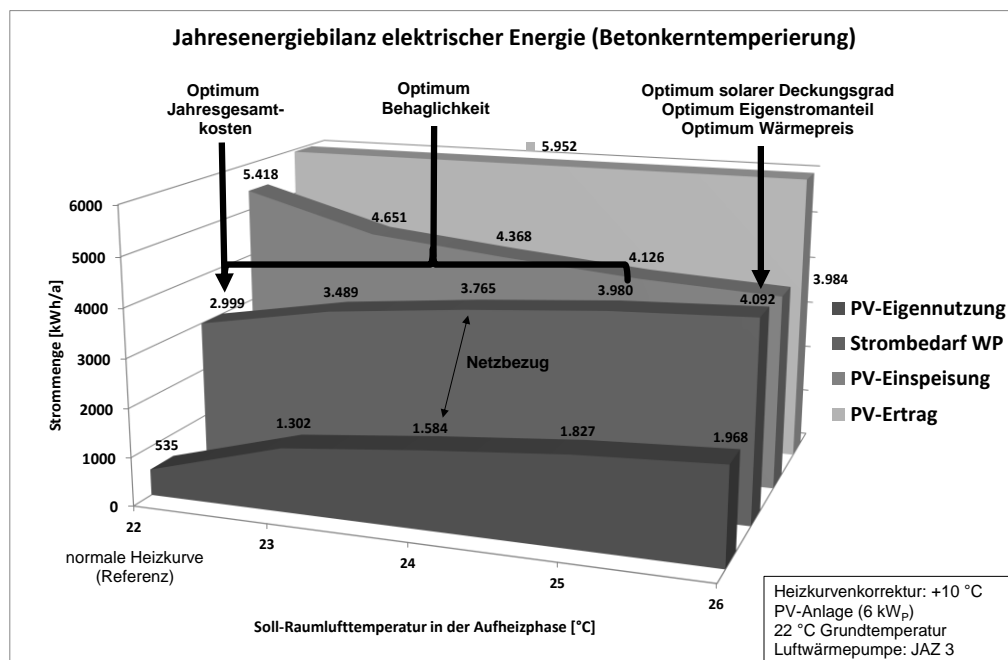


Abbildung 25: Jahresbilanz elektrischer Energie für verschiedene Soll-Raumlufttemperaturen mittels Heizkurvenkorrektur von +10 °C

Figure 25: Annual balance of electrical energy for various target room air temperatures with the help of a heat curve's correction of +10 °C

Es zeigt sich, dass diese Betriebsweise im Vergleich zum normalen Heizkurvenverfahren (Referenzfall) die Möglichkeit bietet, einen höheren Anteil an PV-Eigenstrom zu nutzen, allerdings bei einem deutlich höheren Jahresheizenergiebedarf und damit verbunden auch höheren Heizkosten (siehe Bild 1). Weiterer Nachteil der Nutzung von Gebäudemassen als Wärmespeicher ist die eingeschränkte Selbstbestimmung der Bewohner sowie die eventuell geminderte Behaglichkeit aufgrund höherer Raumtemperaturen. Letztere hängt vom individuellen Empfinden der Bewohner ab.

### **Thermal activation of building mass by a heat pump system in combination with a PV power plant**

*Dipl.-Ing. Stefanie Koch*

In the following we will demonstrate how volatile energy such as solar energy can be increasingly applied to heat the building mass. A study was therefore prepared in the simulation tool TRNSYS to analyze the thermal behavior of a single-family home which is heated with the help of a heat pump being also operated with the power gained from a photovoltaic plant. Furthermore, for direct activation of the building storage the thermal activation of building structures (that means use of the concrete core like the floor or the ceiling) is used. The thermal activation contributes to shift the loads from the daytime with much generated solar power to the night-time with only little solar energy. However, load transfer caused by buildings' thermal storage capacity is subject to different conditions: solid construction, more complex control methods, optimal duration and number of heating phases.

Since the storage capacity is, among others, dependent on the existing temperature difference between room air and thermal mass, the heat curve is always corrected by +10 °C when the average hourly performance of the PV system increases the threshold value of 0.5 kW.

It turns out that this mode of operation as compared to the normal heat curve (reference case) provides the opportunity to use a greater proportion of PV generated current, but its annual heating demand and therefore the heating costs are significantly higher (Figure 25). Another disadvantage of the buildings mass' use as heat storage is the limited self-determination of the residents as well as the possibly reduced comfort – due to higher indoor temperatures. The latter depends on the individual perception of the residents.

## Einwicklung einer thermischen Lastgangprognose für Bürogebäude und Fernwärmenetze zur Statusvorhersage von BHKW und Wärmepumpen

*Dipl.-Math. techn. Frithjof Fehsenfeld*

Stark volatile Verbraucher und Erzeuger sind ein wichtiger Baustein des zukünftigen Energiesystems. In diese Kategorie fallen sowohl KWK-Anlagen als auch Wärmepumpen. Ein Problem dieser Anlagen ist der häufig asynchrone Verlauf von thermischen und elektrischen Lasten, der eine optimale Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Energie erschwert. In Verbindung mit thermischen Speichern und einer intelligenten Steuerung können die Lastgänge entkoppelt werden, sodass Eigenverbrauchswerte gesteigert oder ein netzorientierter Betrieb gefahren werden kann. Für diese Anwendungen werden möglichst gute Prognosen der Lasten benötigt, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Stromlastprognosen sind bereits auf vielen Ebenen Usus, thermische Lastprognosen werden hingegen nur für wenige Anwendungen erstellt.

Im BMBF geförderten Projekt *Netzlastoptimierung durch vorausschauende Steuerung von BHKW und Wärmepumpen (Nevora)* an der Hochschule Hannover in Kooperation mit elenia werden hierfür Vorhersagen für die thermischen Lasten von Fernwärmenetzen und Bürogebäuden des folgenden Tages erstellt. Hierfür werden maschinelle Lern- und Regressionsverfahren unter Verwendung von Wetter- und weiteren Messdaten genutzt. Anschließend wird anhand der Prognosen der Status von BHKW und Wärmepumpen im Vorhersagezeitraum bestimmt und in einer Simulation mit dem realisierten Betrieb verglichen.

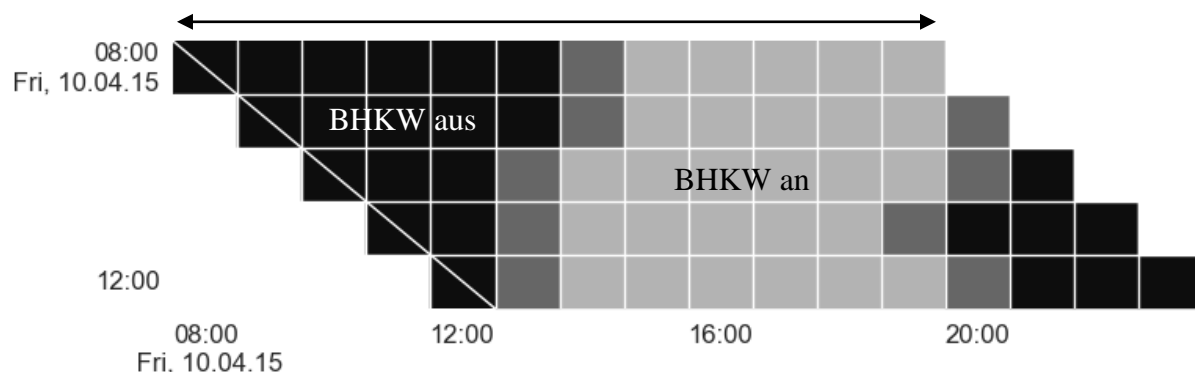


Abbildung 26: Fahrplan der nächsten 12h für ein simuliertes BHKW. Für jede Stunde wird der An/Aus-Status (hellgrau/schwarz) bzw. Statuswechsel (grau) anhand der thermischen Lastprognose eines Verbrauchers vorhergesagt. Das untere Dreieck auf der linken Seite markiert den in ersten Stunde aufgetretenen Status

Figure 26: Operation Schedule for the next 12h for a simulated CHP. Every hour the on/off status (light grey/black) or operation change (grey) is predicted based on the expected load.

The lower triangle on the left shows the real status of the CHP in the first time step

Im weiteren Projektverlauf wird die thermische Lastgangprognose für eine prädikative BHKW-Steuerung eingesetzt, um einen ökologischen und ökonomischen Nutzen gegenüber einer regulären Steuerung zu bestimmen. Hierbei wird neben dem Betrieb einer einzelnen Erzeugungseinheit auch der Verbundbetrieb aus mehreren BHKW-Anlagen und thermischen Speichern untersucht.

### **Development of a heat load prediction for office buildings and district heating systems for unit schedule prediction of CHPs and heatpumps**

*Dipl.-Math. techn. Frithjof Fehsenfeld*

Highly volatile demand and supply management is an important component of future energy systems. Combined heat and power plants (CHP) as well as heat pumps are both of importance in this context. The main obstacle to be addressed is the mostly asynchronous thermal and electric demand which leads to suboptimal use of energy. By combining CHPs with heat storage systems the loads can be decoupled, with the effect that own consumption can be increased or the units can be operated in a grid-oriented way. An accurate prediction is needed to guarantee energy supply.

As part of the BMBF funded research project „Nevora“ at the University of Applied Sciences and Arts in Hanover in cooperation with elenia, a thermal heat load prediction method for office buildings and district heating systems has been developed. It uses machine learning regression algorithms and applies these to measurements of the weather data and further variables to predict the thermal load of the following day. The prediction is then used to estimate the status of the CHPs and heatpumps during the forecasting horizon. In a simulation the estimated and realized operation of the units are compared.

In future project steps the prediction will be used in simulations of improved CHP operation schedules in order to evaluate the ecological and economical benefit. Both single CHP and heat storage systems as well as linked CHPs will be considered during the project.

### **3.4 Hochspannungstechnik – High Voltage Technology**

#### **Ertüchtigung der Hochspannungshalle und Kalibrierung des 2 MV Zaengl Teilers**

*Dipl.-Ing. Carola Schierding*

Aufgrund der Forschungsinteressen in den letzten Jahren waren Prüfspannungen im Bereich bis 750 kV ausreichend. Dieser Prüfspannungsbereich hat sich im Zuge des deutschlandweit steigenden Energiebedarfs bis auf 1 MV ausgeweitet. Ein weiterer Aspekt für die erhöhten Prüfspannungen sind die Normänderungen in der IEC 60060-1:2010 und der IEC 60060-2:2010, in denen empfohlen wird Prüfgeräte bei Nennspannung zu kalibrieren und nicht mehr nur mit 20 % der Nennspannung. Infolge dessen beteiligen sich die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Braunschweig und das elenia, zusammen mit anderen metrologischen Instituten aus Europa, an dem EURAMET Projekt ELPOW. Im Rahmen dieses Projekts wurde von der PTB ein 1 MV gedämpft kapazitiver Spannungsteiler, ein sogenannter Zaengl Teiler, zur Präzisions- und Schutzmesstechnik entwickelt. Dieser Zaengl Teiler muss auf sein Verhalten bei unterschiedlichen Impulsspannungen, wie z.B. Blitz- oder Schaltstoßspannungen, überprüft werden. Des Weiteren muss das Verhalten des Teilers zusätzlich in anderen Prüfeinrichtungen betrachtet werden. Hierfür wurde die Revision der Hochspannungshalle des elenia durchgeführt. Im Zuge der Umbaumaßnahmen wurde der Stoßspannungsgenerator von drei aktiven Stufen auf fünf aktive Stufen erweitert, um eine theoretische Prüfspannung bis zu 1,25 MV erzeugen zu können. Als Folge der erhöhten Prüfspannung mussten die Schutzmaßnahmen angepasst werden. Die spannungsbedingt geforderten Abstände zwischen geerdeten und benachbarten spannungsführenden Geräten wurden neu eingestellt und zusätzliche Gitter angebracht. Nach Beendigung des Umbaus und Updates des Messsystems, erfolgten erste Referenzmessungen zwischen dem 1 MV PTB Zaengl Teiler und dem elenia 2 MV-Zaengl Teiler, welche gezeigt haben, dass eine Messabweichung des elenia-Zaengl Teilers von kleiner als 2 % möglich sein könnte. In der Abbildung 27 ist der Prüfaufbau am elenia während eines Stoßspannungsimpulses mit 900 kV dargestellt.

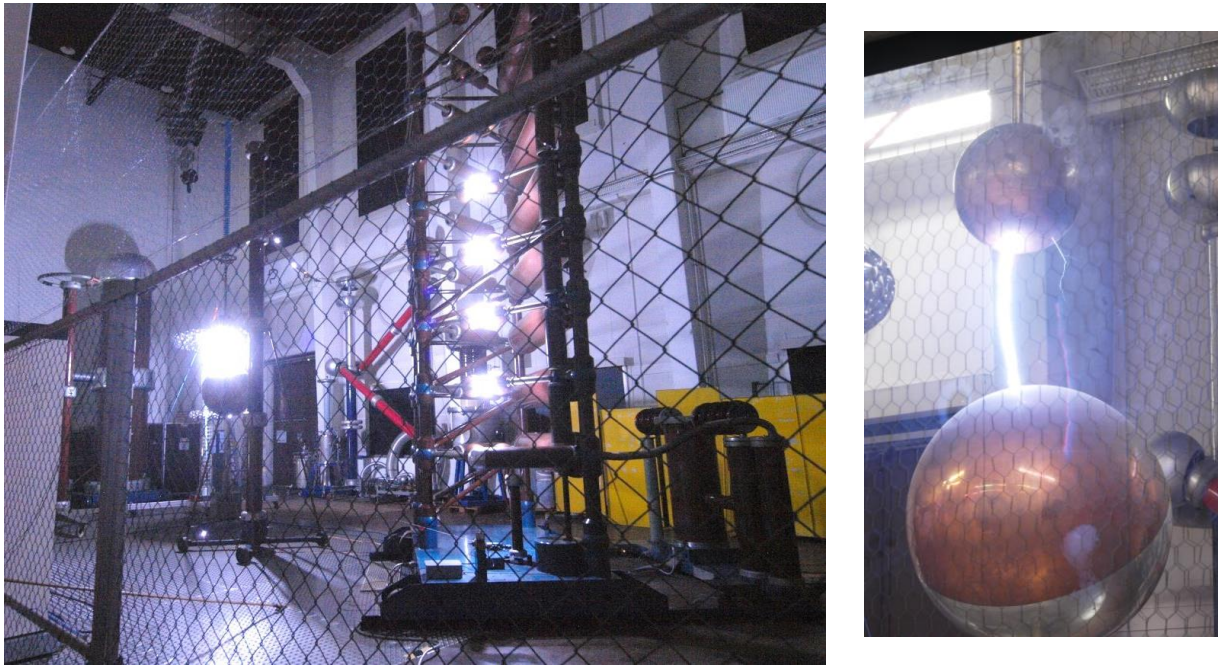


Abbildung 27: Stoßspannungsimpuls  $\sim 900$  kV; Links: Prüffeld Hochspannungshalle; Rechts: Überschlag zwischen Kugelfunkenstrecke

Figure 27: Lightning impulse  $\sim 900$  kV; Left: Test field High Voltage Lab; Right: Flashover between sphere gap

### **Revision of the high voltage laboratory and calibration of 2 MV Zaengl divider**

*Dipl.-Ing. Carola Schierding*

Due to the research interests in the last years testing voltages in the range of up to 750 kV were sufficient. This voltage range has increased up to 1 MV due to the German-wide increase in energy demand. A further aspect are the higher testing voltages which are emphasized in the normative regulations IEC 60060-1:2010 and IEC 60060-2:2010, which recommend testing of testing devices at nominal voltage deviating from the past where testing with 20% of nominal voltage was sufficient. Therefore the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Braunschweig and elenia are participating together with other meteorological institutions all over Europe in the EURAMET project ELPOW. In this project the PTB developed a 1 MV damped-capacitive voltage divider (Zaengl divider) for precision and protection-measurement systems. This divider has to be tested for its performance for different voltage waveforms and in different testing facilities. The testing was also planned to be done at elenia, thus revision of the high voltage lab was necessary. The impulse generator was extended from three active levels to five active levels in order to reach a theoretical maximum impulse voltage of 1.25 MV. Subsequently the safety measures had to be adjusted, which was done through adding metallic fences for protection and increasing distances to other devices. After modification and update of the measuring software, first reference measurements be-

tween the 1 MV-divider at PTB and 2 MV-divider at elenia were done and showed that an error of less than 2% seems possible. In Figure 27 the testing setup at elenia is shown during a 900 kV lightning impulse.

## **Stand der Technik und Versuche in flüssigem Stickstoff**

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

Hochtemperatursupraleiter (HTSL) finden in einer steigenden Anzahl von Pilotprojekten Anwendung, wie zum Beispiel in Offshore-Anwendungen als supraleitender Generator (Suprapower), supraleitende Kabelstrecke im Verteilnetz der Stadt Essen (Ampacity) oder als supraleitender Strombegrenzer zur Begrenzung von Fehlerströmen (Eccoflow). Die supraleitenden Bänder müssen gekühlt und isoliert werden, wobei das Kühlmedium ebenfalls als Isoliermedium dienen kann. Daher steigt das Interesse an wirtschaftlichen und kostengünstigen elektrischen Tieftemperatur-Isolationen. Gegenüber flüssigem Helium (LHe) bietet sich flüssiger Stickstoff (LN<sub>2</sub>) als kostengünstige Alternative an. Der flüssige Stickstoff kann durch einfache Verfahren mit relativ gutem Wirkungsgrad erzeugt werden und die Siedetemperatur liegt bei Normaldruck mit etwa 77 K unterhalb der Sprungtemperatur von HTSL (ca. 90 K). Um die Isolationsfähigkeit und den elektrischen Durchschlagsprozess von LN<sub>2</sub> charakterisieren zu können, werden Durchschlagversuche in LN<sub>2</sub>-gefüllten Kryostaten mittels Modellanordnungen durchgeführt.

Der Aufbau, bestehend aus Prüfspannungserzeugung, Kryostaten mit verschiedenen Profil-Elektroden und Messaufbau, wurde hinsichtlich Reduzierung von Teilentladungen optimiert um Emissionsströme aufzeichnen zu können. Hierfür wurde das Stromsignal bei Blitzstoß- und Wechsellastbelastung aufgezeichnet. Es konnten der kapazitive Ladestrom erfasst und erste Signale, die auf Emissionsströme hindeuten identifiziert werden.

Weitere Messungen in Stickstoffgas bei kryogener Temperatur legen nahe, dass eine Ausbildung des Durchschlages im Gas nach dem Streamer-Mechanismus möglich sein könnte.

Nach der erfolgten Kalibrierung der Prüfeinrichtung in Zusammenarbeit mit der PTB (vgl. Bericht von Carola Schierding) sind besonders präzise Messungen am Kryostaten zur Untersuchung des Durchschlagprozesses in LN<sub>2</sub> möglich. Zur Untersuchung des Durchschlages wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und in Relation zu der Vorarbeit hier am Institut gebracht. Daraus hat sich ergeben, dass eine reichhaltige phänomenologische Beschreibung des Durchschlages vorhanden ist. Eine Erklärung wie der Prozess abläuft ist je-



Abbildung 28: Elektrodenanordnung  
Figure 28: Electrode arrangement

doch nur unzureichend oder widersprüchlich beschrieben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend, wird der Versuchsaufbau und das Vorgehen angepasst und anschließend erweiterte Durchschlaguntersuchungen durchgeführt.

### **State of the art and experiments in liquid nitrogen**

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

High temperature superconductors (HTSL) are used in an increasing number of pilot projects, as for example in offshore windparks as superconducting generator (Suprapower), superconducting cable in the distribution network of the city Essen (Ampacity) or as superconducting fault current limiter (Eccoflow). The superconducting tapes have to be cooled and electrically insulated, whereat the cooling medium can also be used as insulation. Thus the interest in economically and cost-efficient electrical low temperature insulation is rising. Compared to liquid helium (LHe) liquid nitrogen (LN<sub>2</sub>) is a cheaper alternative, because it can be produced easily with a reasonably good efficiency and its boiling point is 77 K and thus lower than the critical temperature of the HTSL (90 K). To be able to characterize the electrical insulation capabilities of LN<sub>2</sub>, breakdown withstand tests are conducted in a liquid-nitrogen-filled cryostat with model arrangements.

The test setup, consisting of the voltage generation circuit, cryostat with different electrodes and measuring circuit, was optimized in order to reduce occurrence of partial discharges and to be able to observe emission currents. Therefore lightning and ac-voltages were applied. The recorded current showed the capacitive loading current as well as signals which could be related to emission currents.

Another measurement in nitrogen gas at cryogenic temperature hints that the breakdown in gas could occur according to the streamer mechanism.

After the calibration in cooperation with the PTB (see abstract of Carola Schierding) especially precise measurements for investigation of the breakdown process of liquid nitrogen are possible. For the investigation of the breakdown process an extensive literature research was done and put in to relation to the works already done at this institute. This revealed a big amount of phenomenological descriptions of the breakdown, but an explanation of how the breakdown takes places is mostly insufficient or contradictory. Starting from the achieved knowledge the experimental setup and the approach are adjusted and subsequently advanced breakdown investigations will be done.



## Bestimmung des Emissionskoeffizienten von flüssigem Kupfer zur Vorbereitung einer thermografischen Analyse von Bogenfußpunkten bei Vakuum-Schaltkontakten

Tobias Pieniak, M.Sc.

Um die Effizienz von Vakuumschaltern zu steigern und die Einsatzmöglichkeiten in höheren Spannungsebenen zu erweitern besteht Forschungsbedarf. Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist, die Temperatur der geschmolzenen Oberfläche von Vakuum-Schaltkontakten, durch die Fußpunkte des kontrahierten Metall-

dampfbogens, mit einer Thermografiekamera zu analysieren. Das Messprinzip ist in Abbildung 29 dargestellt. Die Untersuchung mit der Thermografiekamera erfolgt unter einem Betrachtungswinkel  $\varphi$  zur Oberfläche des betrachteten Vakuum-Schaltkontaktes. Die von der Kamera aufgenommenen Strahldichte ist proportional zur Temperatur auf der Kontaktoberfläche. Weiterhin ist die Strahldichte auch vom Material abhängig, wodurch verschiedene Materialien bei gleicher Temperatur unterschiedliche Strahldichten aufweisen. Dieses Verhalten wird mit dem Emissionskoeffizient  $\varepsilon$  beschrieben. Zur Kalibrierung der Thermografiekamera muss  $\varepsilon$  des Kontaktmaterials bestimmt werden.

Für diese Herausforderung wird ein zusätzlicher Messaufbau entwickelt, wobei in einem Grafitiegel geschmolzenes Metall mit der Thermografiekamera untersucht wird (siehe Abbildung 30). Zur Bestätigung des Messaufbaus und der korrekten Vorgehensweise bei der Kalibrierung wird vorerst  $\varepsilon$

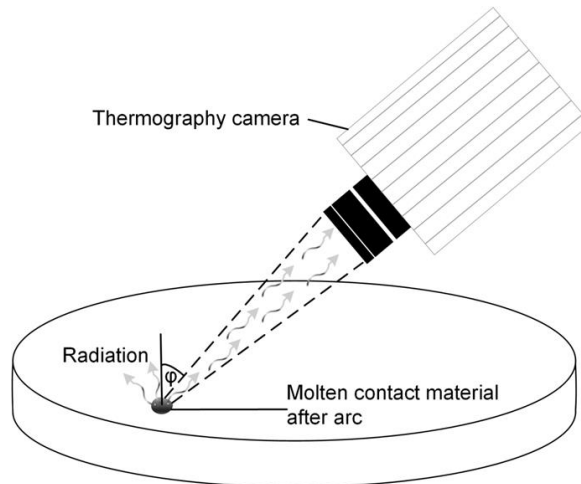
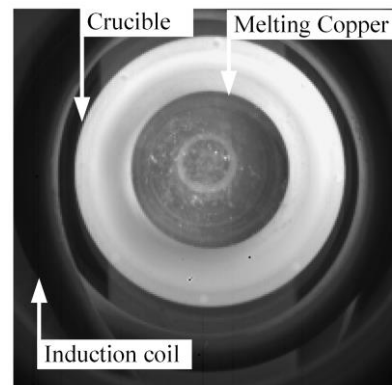


Abbildung 29: Messprinzip zur thermografischen Analyse der geschmolzenen Bogenfußpunkte

Figure 29: Schematic figure of the measuring principle



Section of a measurement for  $\varphi = 0^\circ$

Abbildung 30: Ausschnitt aus einer Messung des Emissionskoeffizienten von Kupfer

Figure 30: An excerpt of the emission coefficient measurement

von Kupfer untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass die gemessenen Werte sehr gut mit der Literatur übereinstimmen. Nach der Kalibrierung der Thermografiekamera, kann diese für Messungen an den Spiralkontakten in Vakuumschaltern eingesetzt und die Temperatur der geschmolzenen Fußpunkte des Metalldampfbogens gemessen werden.

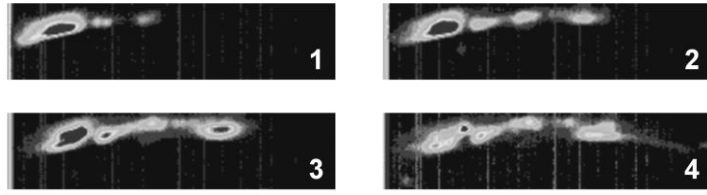


Abbildung 31: Thermografische Aufnahme von Fußpunkten eines Metalldampfbogens auf der Schaltkontaktoberfläche

Figure 31: Thermographic recordings of the arc roots

In Abbildung 31 ist ein Ausschnitt einer thermografischen Untersuchung bei 15 kA dargestellt. Es ist der Lauf der Fußpunkte auf der Oberfläche von Spiralkontakten zusehen. Der Metalldampfbogen bewegt sich im Bild von links nach rechts, dabei kühlen sich die Fußpunkte über die Zeit ab. In den Aufnahmen sind sowohl der Metalldampfbogen, als auch die Fußpunkte zu erkennen. Die gemessene Strahldichte muss entsprechend des Emissionskoeffizientens des Kontaktmaterials Kupfer/Chrom korrigiert werden, um somit die Temperatur der Fußpunkte zu bestimmen.

### **Determination of the emission coefficient of liquid copper with thermographic recordings of switching contacts in vacuum**

*Tobias Pieniak, M.Sc.*

Due to the importance of vacuum interrupters in today's power supply industry it is necessary to advance research of vacuum switching devices. The main focus of this research project is to determinate the temperature of the molten contact surface (after arc) of TMF-contacts with a thermography camera.

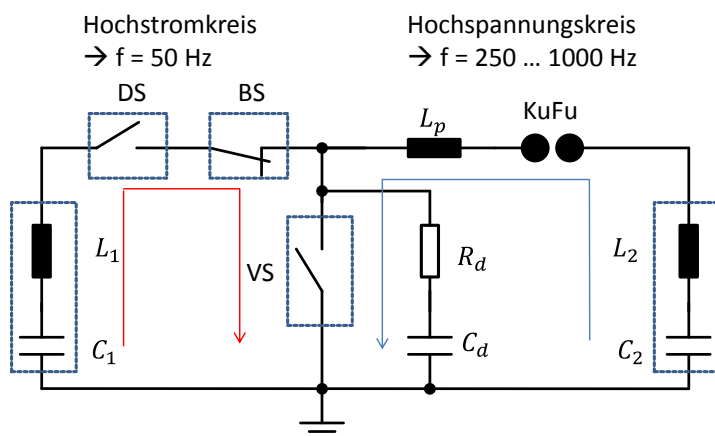
Figure 29 shows the measuring principle. Under a viewing-angle  $\varphi$  it's possible to examine the temperature of the molten contact surface. To be able to measure temperatures accurately with a thermography camera, it's necessary to determinate the emission coefficient of the investigated material. For this investigation a special experimental setup was developed. The material is melted in a crucible and observed by the thermography camera to determine the emission coefficient. To confirm the experimental setup and the procedure,  $\varepsilon$  of copper are investigated. Figure 30 shows an excerpt of a measurement. The measured values are in good agreement with the values from the literature.

Figure 31 shows the first results of thermographic recordings of the contact surface after the arc. Here the path of the arc and the arc roots can be seen. These move from left to right in the pictures (1-4). After determining the emission coefficient of the used contact material in the special experimental setup, the temperature of the arc roots in Figure 31 can be determined.

## Erweiterung des Leistungsprüffeldes um einen Hochspannungskreis (TRV)

Benjamin Kühn, M.Sc.

Schalthandlungen sind zum einen aus Gründen der Sicherheit (Fehlerunterbrechung) und zum anderen aus rein praktischen Gründen (Zuschalten von Betriebsmitteln) in allen Netzspannungsebenen notwendig. Das elenia befasst sich im Rahmen eines Promotionsprojektes mit Schalthandlungen im Mittelspannungsnetz (Spannungen unter 52 kV). Um mit speziell vorbereiteten Versuchsschaltern Untersuchungen durchführen zu können, bedarf es eines geeigneten Prüffeldes. Möglich ist die direkte Prüfung am Netz oder die Nachbildung eines Netzes über ein synthetisches Leistungsprüffeld. Unter anderem muss ein Leistungsschalter Kurzschlüsse im Netz ausschalten können. Hierfür sind in der Norm Werte für die Höhe des Kurzschlussstromes und der folgenden Spannungsbelastung der Schaltstrecke, der transienten Wiederkehrspannung (TRV – transient recovery voltage), festgelegt. Die Höhe der TRV liegt ungefähr einen Faktor  $\sqrt{2}$  über der Bemessungsspannung des jeweiligen Schalters. Um den Hochstrom und die Hochspannung nachzubilden, wird in einem synthetischen Leistungsprüffeld eine Hochstrom-Kondensatorbank mit einer Hochspannungs-Kondensatorbank verschaltet (Abbildung 32).



$L_1, C_1$  Reihenschwingkreis für die Hochstromphase;  
 $L_2, C_2$  Reihenschwingkreis für die Hochspannungsphase;  
 DS Draufschanter; BS Blockierschalter; VS Versuchsschalter;  
 KuFu Kugelfunkenstrecke;  $R_d, C_d$  Dämpfungseinheit zur  
 Unterdrückung von Überswingern;  $L_p$  Parasitäre Induktivitäten

Abbildung 32: Verschaltung des synthetischen Prüffeldes nach Weil-Dopke

Figure 32: Circuit of the test field based on Weil-Dopke

Damit zukünftig auch Schalter höherer Netzspannungsebenen am elenia geprüft werden können, wird der Hochspannungskreis ertüchtigt. Hierzu wird eine Vielzahl von Hochspannungskondensatoren auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz im Prüffeld getestet. Hierzu gehören unter anderem Tests zur dielektrischen Festigkeit und zum Verlustfaktor der Kondensatoren. Nach den erfolgreichen Tests der Kondensatoren werden Spulen gewickelt um einen normge-

rechten TRV-Spannungsverlauf über einen LC-Schwingkreis zu erzeugen. Anschließend folgt der Einbau in das Prüffeld. Ziel ist es eine TRV im Bereich von 130 kV (RMS) zu erreichen. Die Fertigstellung der Ertüchtigung des Hochspannungskreises ist für das Jahr 2016 geplant.

### **Expansion of the synthetic test field to a high voltage circuit (TRV)**

*Benjamin Kühn, M.Sc.*

Switching operations are conducted in the electrical grid at several different voltages every day. On one hand they are necessary for security operations (error interruption) and on the other for purely practical operations (switching of electrical systems).

The elenia researches switching operations in the medium-voltage grid (voltages below 52 kV). To perform those investigations, we use specially prepared test switches. It is possible to test directly in the power supply network or to replicate a power-supply-network via a synthetic test field. The variation of the synthetic test field has been selected in the elenia. To interrupt a shortcut in the power supply network, a circuit breaker has to be able to switch off the shortcut current in the kA range and to hold a transient recovery voltage (TRV), which stresses the contact gap. The amount of the TRV is prescribed in the Norm and is roughly valued by a factor of  $\sqrt{2}$  above the rated voltage of the interrupter. In order to replicate these phases (high-current phase and high voltage phase), in a synthetic test field a high power capacitor bank is connected with a high voltage capacitor bank (Figure 32). To be able to test interrupters in higher voltage levels, the synthetic-test-field of the elenia needs to be enlarged. Therefore a variety of high-voltage capacitors are tested for their suitability for a usage in the test field. These tests include dielectric stress tests and an aging test of the capacitors dielectric fluid. The successful testing of the capacitors is followed by the preparation of high voltage coils to form a standardized voltage waveform over a LC resonant circuit. The aim is to achieve a voltage range of 130 kV TRV (RMS). The completion of the upgrading of the high-voltage circuit is planned for the year 2016th

### **Schaltverhalten IGBT-basierter HGÜ-Stromrichter-Teilmodule**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

Die Anforderungen im Bereich Planung und Betrieb sicherer Energieversorgungssysteme sind gestiegen. Hierdurch ist der zunehmende Einsatz von Leistungselektronik zur gezielten Steuerung von Lastflüssen erforderlich. Als Anwendungsbeispiele seien Stromrichter im Verbund mit erneuerbaren Erzeugern, die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) oder FACTS genannt. Das elenia kooperiert mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) auf dem Gebiet rückführbarer Messverfahren für die Charakterisierung von Spannungszwischenkreis-Stromrichtern.

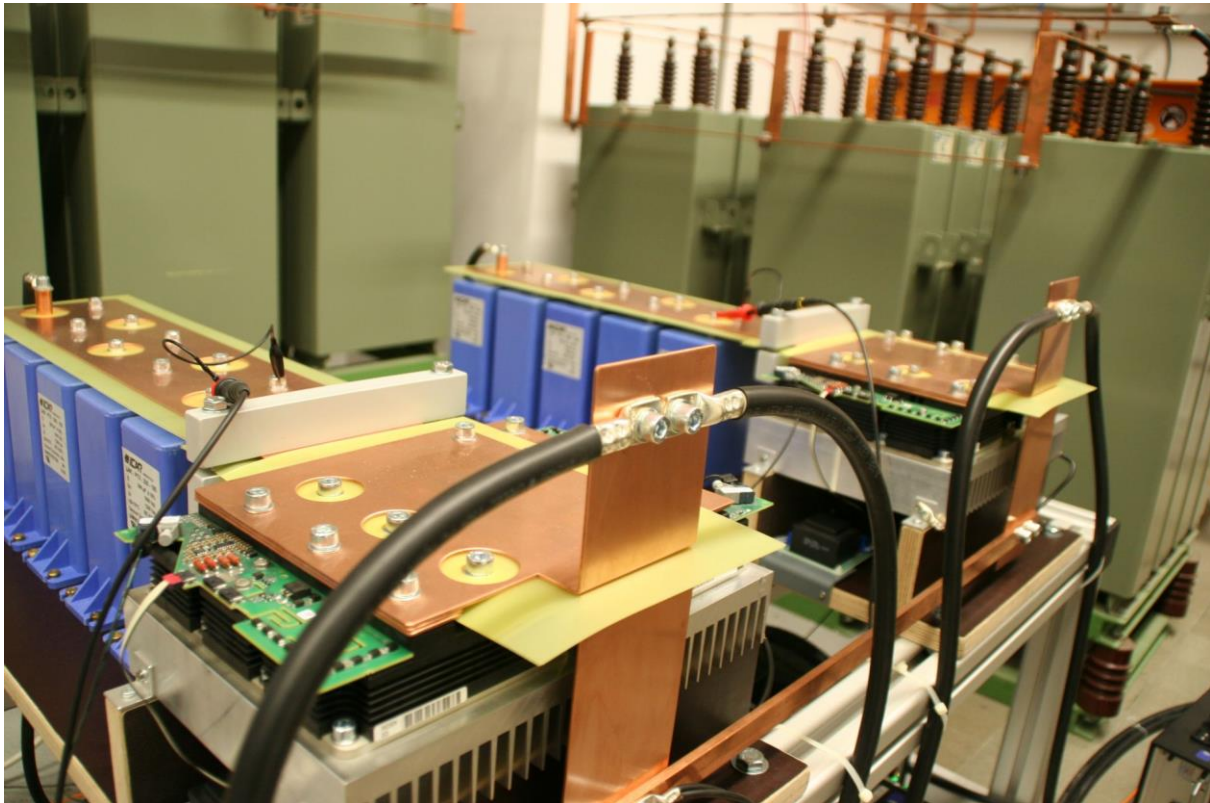


Abbildung 33: Modulare Multilevelkonverter-Module in der elenia-Prüfanlage. Elementare Komponenten sind Hochleistungs-IGBT-Module und Hochspannungskondensatoren.  
Figure 33: Modular multilevel converter submodules at elenia test field. Elementary components are high power IGBT modules and high voltage capacitors.

Im Fokus aktueller Untersuchungen stehen das Schalt- und Verlustverhalten von modularen Multilevelkonverter-Modulen (siehe Abbildung 33), die Teilmodule oder auch Submodule genannt werden und ein fundamentaler Bestandteil der Stromrichterventile sind. Die schnellen Schaltvorgänge stellen besondere Anforderungen an eine präzise Messtechnik. Beispielsweise kann ein Zeitversatz in der Messung von Strom und Spannung einen signifikanten Fehler bei der Verlustbestimmung verursachen. Methoden zur Visualisierung und Kompensation derartiger Fehlerquellen wurden erarbeitet und veröffentlicht. Im Rahmen des EU geförderten Forschungsprojekts *EMRP ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* konnte die erste Stufe eines Referenzmesssystems präsentiert werden, das für die Optimierung des Wechselrichterbetriebs und das Vermeiden von Verlusten eingesetzt werden kann.

## **Switching behavior of IGBT based HVDC converter submodules**

*Dipl.-Ing. Ole Binder*

elenia and Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) cooperate in the field of traceable measurements on voltage source converters. In the focus of current research at elenia are modular multilevel converter modules (see Figure 33), so called submodules, that cause high demands on the measurement system due to the fast switching capability. For example a time delay between electrical measured current and voltage signals can lead to a significant miscalculated switching power loss value. Solutions for time delay visualization and compensation at measurement system components were developed and published. In the framework of the research project *EMRP ENG07 Metrology for High-Voltage Direct Current* - funded by EU - the first stage of a reference measurement system was presented. Its use facilitates optimized converter operation and the prediction of power loss.

### 3.5 Marktintegration – Market Integration

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

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

In Zukunft soll die Förderung der erneuerbaren Energien mehr und mehr marktorientiert erfolgen. Damit der Zubau auch in der Zukunft erfolgreich weitergeht, müssen die Ziele Förderung und Marktorientierung in Übereinstimmung gebracht 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 untersucht, inwiefern zu bestimmten Marktsituationen die Systemsicherheit gefährdet wird und wie dezentrale Anlagen das elektrische Versorgungssystem unterstützen können.

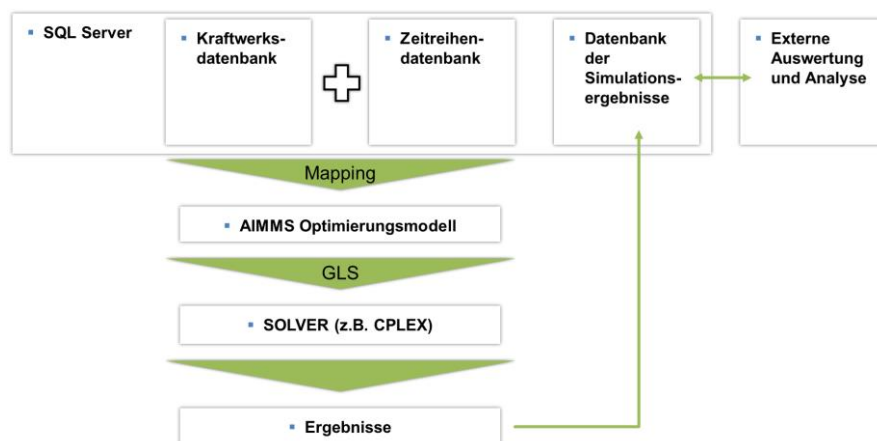


Abbildung 34: Aufbau des Marktmodells

Figure 34: Design of the market model

Ein Fokus der Untersuchungen liegt auf der Integration von elektrischen Energiespeichern. Die Speicher werden über eine Cloud vernetzt und stehen mehreren Nachfragern zur Verfügung. Die hohe Anzahl an dezentralen Speichern wird im Marktmodell aggregiert und mit den technisch-ökonomischen Randbedingungen implementiert. Dadurch kann der Einfluss einer zunehmenden Anzahl an kleinen Speichern analysiert werden.

## **Market prices, 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 significantly. The profitability of all power plants is affected adversely. As of now, the German government intends to shift the stimulation of renewable energies from a fixed reimbursement for twenty years to a more market-oriented view. It is crucial for the further successful augmentation of renewable energies that both ideas act in concert.

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. In particular small battery storages, i.e. systems used in residential buildings, are relevant for the energy transition. Though these batteries are too small to participate at the market properly, they can be interconnected by means of a Cloud. The Energy Storage Cloud resembles all the aggregated battery units in the market model.

## **Regelleistungserbringung mit Photovoltaikanlagen**

*Julia Seidel, M.Sc.*

Die Veränderungen der Stromerzeugungsstruktur in Deutschland im Laufe der letzten Jahre haben einige wesentliche Herausforderungen mit sich gebracht. Eine davon betrifft die Systemstabilität, die zum jetzigen Zeitpunkt hauptsächlich von konventionellen Kraftwerken sichergestellt wird. Insbesondere die Frequenzhaltung und somit die Bereitstellung von Regelleistung wird nur zu einem geringen Anteil von erneuerbaren, dezentralen Erzeugungsanlagen durchgeführt. Bei einem zukünftig weiter steigenden Anteil regenerativer Energien und weniger rotierenden Massen im deutschen Verbundnetz müssen jedoch vor allem auch fluktuierende Erzeuger, wie Windkraft- und Photovoltaik-(PV-)Anlagen, ihren Beitrag dazu leisten.

Diese Situation wirft verschiedene Fragestellungen auf, die in den kommenden Jahren geklärt werden müssen, um das langfristige Ziel einer Energieversorgung aus 100 % regenerativen Energien erreichen zu können. Auf der technischen Seite geht es beispielsweise um Forschungsfelder zu der Art der Regelleistungserbringung mit PV-Wechselrichtern, die Erfüllung der vielfältigen Anforderungen der Übertragungsnetzbetreiber, die Validierung eines passenden Nachweisverfahrens oder der Rolle, welche die PV in naher und ferner Zukunft in diesem Bereich spielen kann und soll. Auch eine Weiterentwicklung der aktuellen Produkte, insbe-



sondere im Hinblick auf die Primärregelleistung bzw. Momentanreserve, ist denkbar. Hierbei kann die schnelle Regelfähigkeit der Wechselrichter aufgrund der Leistungselektronik genutzt werden, um die Systemstabilität zu sichern.

Auch die wirtschaftliche und regulatorische Situation muss bewertet werden. Der Regelleistungsmarkt ist, historisch bedingt, nur auf konventionelle Kraftwerke ausgerichtet, für fluktuierende Erzeugungsanlagen ist der Eintritt in den Markt kaum möglich bzw. nicht sinnvoll. Herausforderungen liegen hierbei vor allem in der Neugestaltung des bestehenden Regelleistungsmarktes. Ein diskriminierungsfreier Markt wie auch eine Weiterentwicklung der aktuellen Bedingungen ist notwendig. Die Entstehung neuer Produkte würde außerdem eine Bewertung möglicher neuer Vergütungs- oder Marktformen erfordern.

### **Activation of Control Reserve with PV Systems**

*Julia Seidel, M.Sc.*

The changes in the German energy supply system during the past years imply several challenges. One of them is the system stability which is ensured by mainly conventional power plants today. Especially frequency control, and therefore the provision of control reserve, is only realized by renewable, decentralized power plants to a small extent. In future, particularly wind and PV systems need to make a contribution in an electricity grid with fewer conventional power plants.

In order to achieve the goal of 100 % renewable energies in Germany, different technical, economic and regulatory issues have to be considered. Technical aspects are, for example, the concept of providing control reserve with PV inverters, coordination processes of transmission and distribution system operators, the validation of a feasible verification method or the role of PV in frequency control in general. Present products, especially with regard to primary control reserve and spinning reserve, may be adapted. The high reaction speed of inverters is a major advantage of PV systems.

Concerning economic and regulatory aspects, the control reserve market is, at present, designed for conventional power plants. Fluctuating energies merely have the possibility to enter the market; at least it is not reasonable. The main challenge in this case is the redesign of the present control reserve market. New products would also lead to the necessity of evaluating new types of tariffs or markets.

## Regelleistung im regenerativen Kontext

*Björn Osterkamp, M.Sc.*

Die angestrebte Dekarbonisierung des Energiesektors und die Abkehr von der Kernenergie haben einen umfassenden Wandel in der Energieerzeugung und Energieverteilung zur Folge. Das bisherige Energiesystem basierte auf einer zentralisierten, verbrauchsgeführten Erzeugung der benötigten Energie. Zukünftig wird der Verbrauch einer dezentralen, fluktuierenden Erzeugung folgen. Um diesen strukturellen Wandel zu vollziehen, sind weitreichende Anpassungen im gesamten Energieversorgungssystem nötig. Besonders die Regelleistung, die für den allzeitigen Ausgleich zwischen Verbrauch und Erzeugung sorgt, wird hier in ein neues Licht gerückt. In ihr waren bisher hauptsächlich Kraftwerkskapazitäten untergebracht, die bei einem Kraftwerksausfall oder einer Abweichung bei der Lastprognose die Leistungsbilanz ausgleichen sollten. Zukünftig wird die Regelleistung v.a. für Prognoseabweichungen auf der Erzeugungsseite eingesetzt werden.

Da der Regelleistungsmarkt und die Anforderungen für die Regelleistung historisch auf Basis der konventionellen Kraftwerke gewachsen sind, bedarf es hier neuen Anforderungen für eine Teilnahme der Regelleistung von erneuerbaren Energien und besonders für fluktuierende erneuerbare Energien. Die Abbildung 35 zeigt beispielsweise die Toleranzen bei der Erbringung und Vor-

haltung von Regelleistung. Hier ist eine Mehrerbringung von (hier: negativer) Regelleistung von 20 % erlaubt. Bei der Vorhaltung gibt es ein Toleranzband von  $\pm 10\%$  der angebotenen Regelleistung.

Im Fokus der Untersuchungen stehen die Erbringung und der Nachweis der Regelleistung bei variierendem Arbeitspunkt. Insbesondere umrichter gesteuerte Anlagen wie die Photovoltaik, Windkraftanlagen oder Batteriespeicher bieten hier zusätzliche Freiheitsgrade und Chancen für ein stabilen Netzbetrieb.

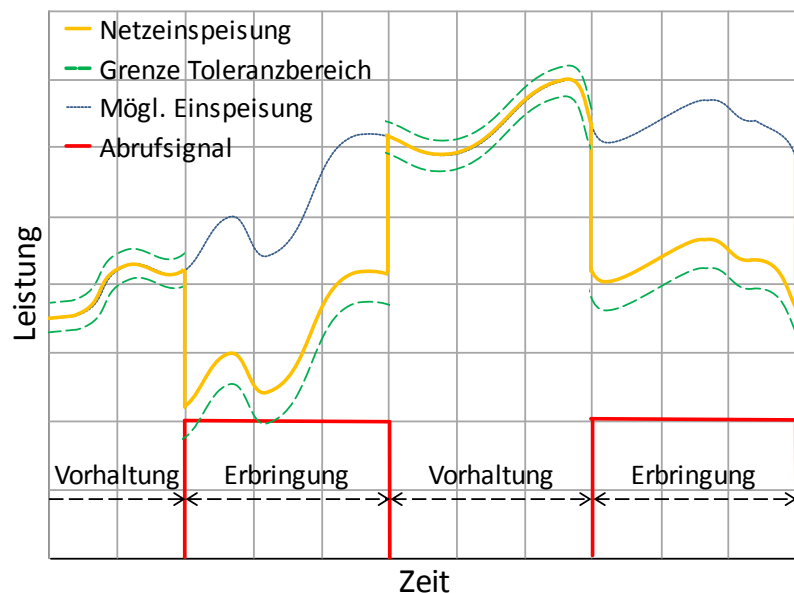


Abbildung 35: Toleranzen bei der Regelleistungserbringung

Figure 35: Tolerances during the provision of control reserve

## **Control reserve in the context of a renewable energy dominated power generation**

*Björn Osterkamp, M.Sc.*

The decarbonisation of the energy sector and the shift away from nuclear energy require a major change in the power generation and power distribution system. The current energy system is based on a centralized, consumption-driven production but in the future the consumption will follow a decentralized, fluctuating production with renewable energy sources. To accomplish this structural change, essential adjustments have to be made. The ancillary services, especially the control reserve, will become a major role in the future energy system.

Historically, the market for the control reserve was based on the conventional power plants and their technical characteristics. There is now a demand for new requirements for this market and the control reserve itself to integrate renewable and fluctuating energy source in this market. For example, Figure 35 shows the tolerances for the supply of (negative) control reserve. The power plants are allowed to deliver 20 % more control reserve than offered.

The focus of research is the provision and verification of the delivered control reserve with fluctuating energy sources. Converter-based systems such as photovoltaics, wind-energy or battery storages have excellent opportunities for the future grid system security.

## **Anforderungen an Gleichstromsysteme für einen energieeffizienten Campus**

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

Im September 2015 ist die zweite Phase des Forschungsprojekts „Energieeffizienter Campus: blueMAP TU Braunschweig“ gestartet. In der Planungsphase wurde zuvor ein integrierter energetischer Masterplan durch Bauingenieure, Architekten, Psychologen, Städtebauplanern und Elektrotechniker der TU Braunschweig erarbeitet. Mit verschiedenen Maßnahmen kann der Primärenergieverbrauch des Campus bis 2020 um 40 % gesenkt werden. Die Vision 2050 sieht eine vollständig regenerative Energieversorgung vor. In der zweiten Projektphase wird nun die wissenschaftliche Begleitung der Maßnahmenumsetzung über drei Jahre gefördert.

Das elenia arbeitet gemeinsam mit dem Gebäudemanagement und dem städtischen Energieversorger BS Energy an der Integration von Blockheizkraftwerken und einer Ladeinfrastruktur für Elektromobilität auf dem Campus. Darüber hinaus wurde als Forschungsfeld die Versorgung von Gebäuden mit Gleichstrom (DC Microgrids) identifiziert, um die Energieeffizienz durch die Vermeidung der mehrfachen Umwandlung zwischen AC und DC zu verbessern. Am elenia wird in einem Büroraum bereits die Machbarkeit einer Gleichstromversorgung demonstriert. Ein zentraler Gleichrichter versorgt sechs elektronische Endgeräte mit einer Gleichspannung von 19,5 V. Die Netzteile der drei Notebooks und drei Bildschirme können so entfallen. Darauf aufbauend werden die Anforderungen an effiziente Gleichstromsysteme für Gebäude in der Stadt der Zukunft ermittelt. Die untenstehende zeigt den

Aufbau in dem Büroraum im Vergleich zur konventionellen Versorgung mit mehreren Netzteilen.

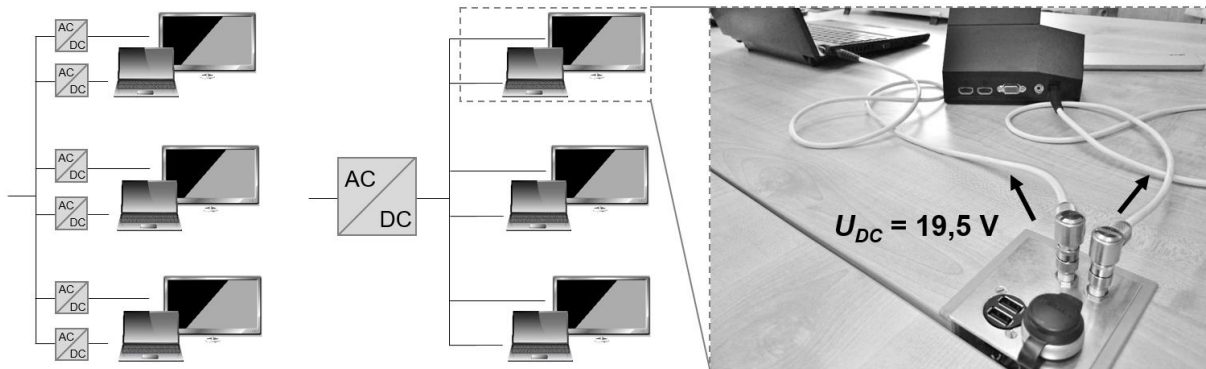


Abbildung 36: DC Microgrid in einem Büroraum

Figure 36: Office space DC microgrid

### Requirements for DC Grids on an Energy-Efficient Campus

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

The “Energy-efficient Campus: blueMAP TU Braunschweig” research project’s second phase started September 2015. An interdisciplinary team of researchers had developed a master plan to reduce the energy consumption on campus by 40% until 2020 during the planning phase of the project. From 2050 on a completely regenerative energy supply of the campus should be implemented. The implementation of the identified measures to reach these goals is now supported by researchers at TU Braunschweig for three years.

The integration of cogeneration units and charging infrastructure for electric vehicles on campus will be realized by elenia in cooperation with the university’s facility management and local utility BS Energy. Furthermore, the direct current based electricity supply of buildings (DC microgrids) was identified as field for research. The prevention of a multiple conversion between AC and DC can reduce energy consumption. One of elenia’s office spaces has been equipped with DC supply technology. Three laptops and screens are supplied by one central rectifier delivering 19.5 V to the electronic devices and replacing the six conventional power supply units. The supply structure is shown in the figure.

### 3.6 Netzintegration – Grid Integration

#### Fehlerdetektion und Schutzkoordination in Niederspannungs DC-Systemen

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

DC-Verteilungsnetze stellen eine effiziente Methode zur elektrischen Energieübertragung dar. Die Integration von erneuerbaren Energien basierend auf dezentralen Erzeugungsanlagen wird nach heutigem technischem Stand problemlos umgesetzt werden. Die aktuellen Entwicklungen in der Leistungselektronik haben dazu geführt, dass in Zusammenarbeit von Forschern und Netzbetreibern DC-Mikronetze realisiert werden konnten. Eine der wichtigsten Herausforderung, die zu bewältigen ist, ist der Schutz der DC-Netze. Die Koordination von Schalt- und Schutzsysteme zwischen den verteilten Schaltern in DC-Netzen ist aus sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten nicht ausreichend genug umgesetzt worden. Im Vergleich zu AC-Systemen liegen dort schon seit Jahrzehnten funktionsfähige Schalt- und Schutzsysteme vor. Um zuverlässige DC-Systeme etablieren zu können, ist die Weiterentwicklung von intelligenter Schutztechnik unumgänglich. Auf diesen Herausforderungen basiert das aktuelle Forschungsfeld Smart Modular Switchgear. In der ersten Forschungsphase werden in einem 24-V-DC-Modellnetz unterschiedliche Fehlerarten und Fehlerorte auf Basis einer Fehlermatrix und

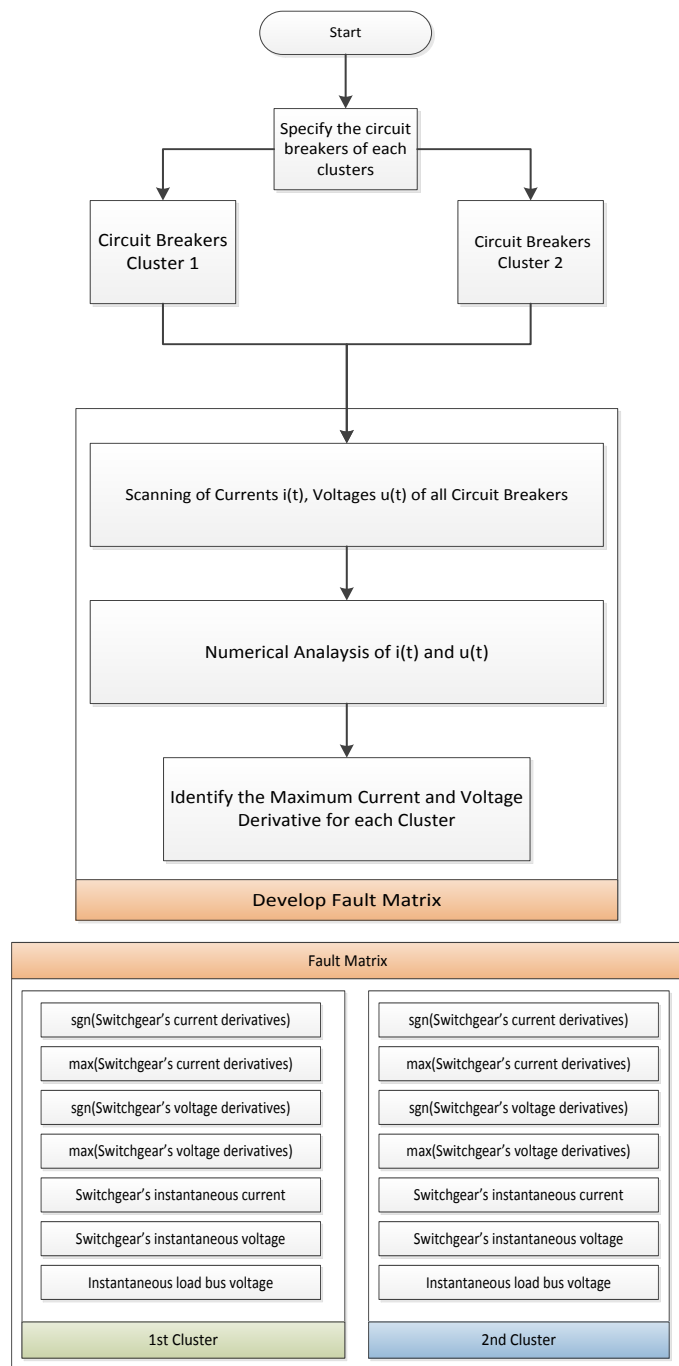


Abbildung 37: Entwicklung von Fehlermatrix für Schutzkoordination

Figure 37: Developing of fault matrix for protection coordination

einer nachfolgenden Schutzkoordination erkannt und abgeschaltet. Spannung und Strom werden kontinuierlich am Schalter abgetastet. Auf dieser Grundlage wird die Fehlermatrix erstellt (siehe Abbildung 37). Die Identifikation der Fehlerart sowie des Fehlerortes wird durch die Schutzkoordination gewährleistet. Sie gibt an, welche Schutzschalter (n) abgeschaltet werden müssen, damit der Fehler abgeschaltet werden kann. Das neue Schutzsystem wurde in PSCAD auf Basis von zwei verschiedenen DC-System Topologien entwickelt und getestet. Die erste Topologie beinhaltet vier Lasten die durch einen Erzeuger gespeist werden, Die zweite Topologie enthält einen weiteren Erzeuger, welche anhand einer Batterie nachgebildet wird. Simulationen wurden auf der Grundlage unterschiedlicher Lasttypen und verschiedenen Fehlerstellen durchgeführt.

### **Fault Detection and Protection Coordination in Low Voltage DC Systems**

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan*

DC distribution networks represent an efficient method of electrical energy transmission. The integration of renewable energy based decentralized resources can be easily performed. Recently, the developments in the power electronics sector enable the researchers and the utility operators to realize the DC micro grids. One of the main challenges which need to be faced is the protection of DC grids. The coordination of the protection schemes in DC systems between the different circuit breakers is not well developed as in the case of AC systems. In order to establish reliable DC systems intelligent protection is becoming increasingly important. Within the current research study, fault detection based on fault matrix and protection coordination in 24 V DC grids is developed. The circuit breakers in the DC system are divided into different clusters. A continuous scanning of the current through the circuit breaker and also the voltage across it is performed. A numerical analysis is conducted in order to develop a fault matrix (see Figure 37). A protection coordination scheme will then test the fault matrix and identify the fault location and which circuit breaker(s) need to be switched off in order to clear the fault. The developed protection scheme was developed and tested in PSCAD on different two DC system topologies. The first topology concludes only on power supply and DC loads, where in the second topology a second power supply which in this case a battery was integrated. Different simulations were conducted based on different load types and different fault locations.

## **Stabilität, Robustheit und Wirksamkeit neuer Konzepte zur statischen Spannungshaltung in Verteilnetzen**

*Ole Marggraf, M.Sc.*

Durch einen regional zum Teil sehr starken Ausbau der dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) in den Verteilnetzen werden vielfach die erlaubten Spannungsgrenzwerte verletzt. In den meisten Fällen sind hier Spannungsanhebungen, verursacht durch photovoltaische Einspeisung, der Auslöser. Neben dem konventionellen Netzausbau, in der Regel durch Netzverstärkung, gibt es heute eine Reihe anderer, alternativer Möglichkeiten zur Beeinflussung der Netzspannung auf der Niederspannungsebene.

Dabei sind die eingesetzten Verfahren nach ihrer Wirkung auf die Netzspannung zu unterscheiden. Der rONT und der Einzelstrangregler beeinflussen direkt die Netzspannung über das Windungsverhältnis bzw. transformatorisch erzeugte Zusatzspannungen. Ihnen stehen die Konzepte, die eine Spannungsbeeinflussung mittels Blindleistung erreichen gegenüber. Dazu gehören z.B. STATCOM oder Photovoltaik- und Batteriewechselrichter. Hierbei muss zwischen verschiedenen Betriebsweisen unterschieden werden. Aktueller Standard ist für Photovoltaikwechselrichter die  $\cos\phi(P)$ -Steuerung. Die spannungsstützende Blindleistungsaufnahme wird dabei in Abhängigkeit der Wirkleistungsabgabe über eine feste Kennlinie geregelt. Verstärkt in den Fokus rücken jedoch aktiv auf die Netzspannung regelnde Verfahren, wie  $Q(U)$  oder eine kombinierte  $Q(U)/P(U)$ -Regelung. Dabei ist die eingestellte Blindleistung direkt von der gemessenen Netzspannung abhängig.

Im Forschungsprojekt „U-Control“ untersucht das elenia gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft, Netzbetrieb und Industrie verschiedene Konzepte zur Spannungshaltung hinsichtlich ihrer Stabilität, ihrer Robustheit auf Fehlersituationen im Netz und ihrer Wirksamkeit. Dabei werden sowohl Simulationen mit Netzberechnungsprogrammen, Laborversuche, Feldversuche bei den drei beteiligten Netzbetreibern, als auch eine wirtschaftliche Bewertung der Ansätze durchgeführt. Besonderes Augenmerk liegt auf möglichen Interaktionen mehrerer Regler.

Nachdem bereits Musternetze für die Durchführung der Netzberechnungen erstellt wurden, werden am elenia aktuell dynamische Software-Modelle der einzelnen Spannungshaltungskonzepte erstellt und die Regelalgorithmen implementiert. Im Anschluss werden die Modelle anhand von Messungen im Labor validiert. Im nächsten Schritt werden in Simulationen und Laborversuchen das Verhalten der Spannungshaltungskonzepte in Fehlersituationen untersucht und Randbedingungen für einen sicheren und stabilen Betrieb abgeleitet.

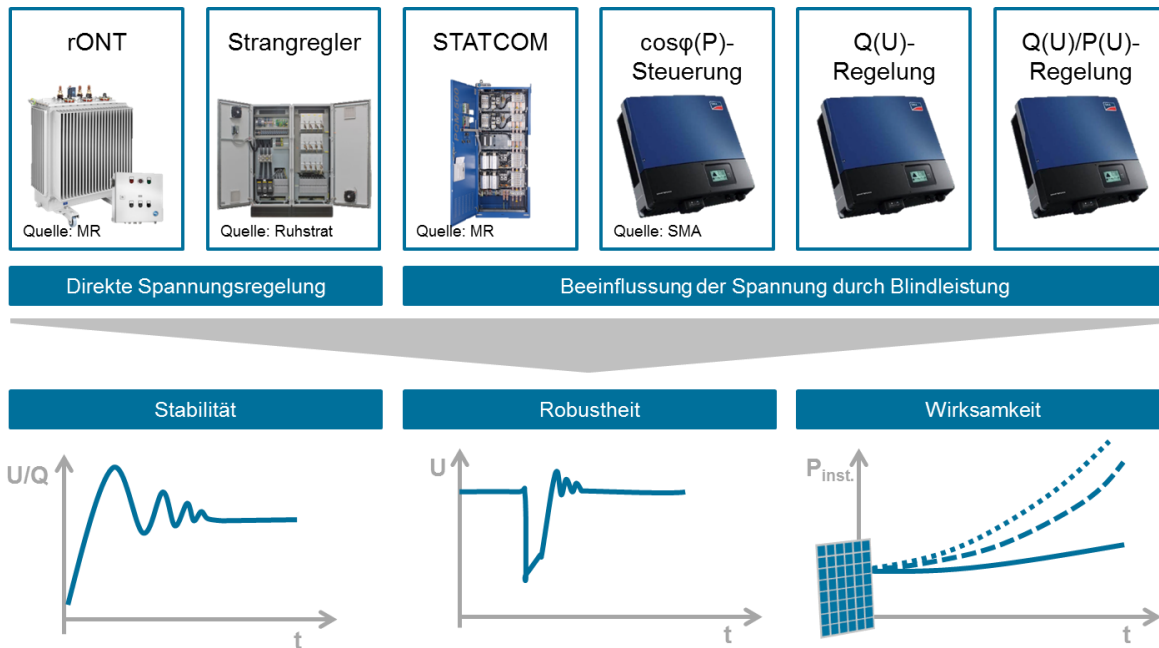


Abbildung 38: Im Projekt „U-Control“ zu untersuchende Spannungshaltungskonzepte  
 Figure 38: Study size of the research-project “U-Control” and Investigation parts of the elenia

### Effectiveness of new concepts for voltage stability in low voltage grids

*Ole Marggraf, M.Sc.*

The complexity of distribution grids with regard to decentralized generation and voltage stability has been growing more and more in the recent past. Examples are photovoltaic inverters, local distribution transformers with on load tap changers (OLTC), line-voltage-regulators (LVR) and other elements with effects on the system voltage. In the past, voltage control was provided by the HV/MV-Transformer. But today, with OLTC, LVR and photovoltaic converter with Q(V) or cosφ(P) control, there are many concepts for voltage control in the low voltage grids. The fast change in low voltage grids leads to some unanswered questions concerning effectiveness and robustness of actual concepts for voltage control.

In the current research-project “U-Control” the elenia investigates therefore the economic efficiency, the robustness, stability and the effectiveness of existing concepts for voltage stability in low voltage grids, under the constraint of high penetration of decentralized generation. The study includes simulations, laboratory- and field tests.

In this study, the elenia cooperates with partners from science, grid operation and industry. The investigation part of the elenia is the stability and robustness of different concepts of voltage control in fault-situations, like short-cuts and islanding situations. The study’s results form the technical and economic basis for the further development of the low voltage grid codes.



## Dynamisches Verhalten von Dezentralen Erzeugungsanlagen mit Vollumrichter

*Stefan Laudahn, M.Sc.*

In den letzten Jahren ist die Durchdringung von dezentralen Erzeugungsanlagen in den Verteilungsnetzen stetig gestiegen. Dies erfordert aus Gründen des Personenschutzes und der Sicherheit von Betriebsmitteln und Kundenanlagen auch die Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens von dezentralen Erzeugungsanlagen beim Netzschutz. Explizit sind hier das Phänomen der ungewollten Inselnetzbildung und das Kurzschlussverhalten relevant.

Die technischen Möglichkeiten – Insbesondere die dynamischen Eigenschaften – von Erzeugungsanlagen mit Vollumrichter sind dabei in der Regel wesentlich höher als von gängigen Normen gefordert. Dies führt allerdings auch dazu, dass das dynamische Verhalten weitestgehend undefiniert und häufig auch unbekannt ist.

Mit Hilfe von Messungen im Netzintegrationslabor ist das Verhalten von PV-Wechselrichtern detailliert untersucht worden. Die aufgezeichneten Sprungantworten der Wirk- und Blindleistungsflüsse des Wechselrichters bei

Spannungs- und Frequenzsprüngen bei unterschiedlichen Parametrierungen liefern wichtige Informationen über die verwendeten Regelungsstrukturen und Zeitkonstanten. Auf dieser Basis ist ein Simulationsmodell nach der in Abbildung 39 dargestellten Struktur entwickelt worden, das das exakte dynamische Verhalten von PV-Wechselrichtern wiedergeben. Durch Simulationen von Netzfehlerfällen wie Inselnetzbildungen und/oder Kurzschlüssen kann darauf aufbauend beurteilt werden welches dynamische Verhalten in kritischen Netzsituationen wünschenswert und welches Verhalten kontraproduktiv bzw. ungewünscht ist.

Dies bildet die Grundlage weiterer Normungsarbeit und auch weiterer Entwicklungsarbeiten bei Herstellern von dezentralen Erzeugungsanlagen.

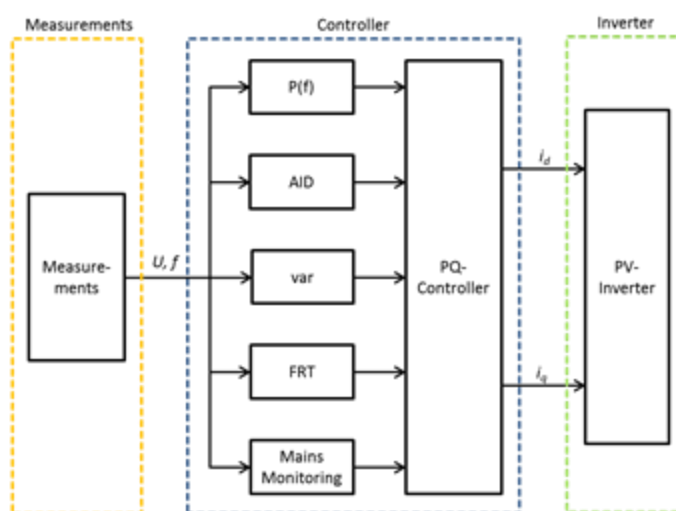


Abbildung 39: Struktur des entwickelten dynamischen Wechselrichtermodells

Figure 39: Principle structure of the simulation model

## **Dynamic behavior of distributed energy resources with inverter**

*Stefan Laudahn, M.Sc.*

The penetration of distributed energy resources (DER) in the distribution grid increases continuously during the last years. Due to the safeness of individuals and technical equipment the dynamic behavior of DERs has to be considered in grid protection schemes. Particularly the dynamic behavior in case of unintentional islanding and during grid disturbances like short-circuits is relevant.

The technical potential of DERs with inverters is – explicit the dynamic behavior – higher than required by typical standards. This causes a behavior which is, more or less, unknown and partly undefined.

A dynamic simulation model has been generated which bases upon measurements in the laboratory for grid integration. The recorded step responses of the active- and reactive power in case of voltage and frequency variations have given important information of the used algorithms and time constants. The principle structure of the generated model is depicted in Figure 39.

This model can be used in further studies to improve the dynamic behavior of DER during grid disturbances.

## **Verändertes Verhalten des Verteilnetzes durch Weiterentwicklung der Erzeuger- und Lastcharakteristiken**

*Maria Nuschke, M.Eng.*

Durch zunehmende Integration von dezentralen Erzeugungseinheiten auf Nieder- und Mittelspannungsebene wird das Verhalten des Verteilnetzes aus Sicht der übergeordneten Spannungsebenen beeinflusst, siehe Abbildung 40. Bei Frequenz- und Spannungsabweichungen vom Nennarbeitsbereich verändern dezentrale Erzeuger ihre Wirk- und Blindleistungseinspeisungen, um dezentral an Frequenz- und Spannungshaltung teilzunehmen. Auch kommunale Kraftwerke, die nicht am Regelleistungsmarkt partizipieren, tragen durch ihre Frequenz-Wirkleistungsregelung zur Frequenzhaltung bei.

Auf der Verbraucherseite beeinflussen Lasten, deren Leistungsaufnahme von Spannung und Netzfrequenz abhängig sind, das Netzverhalten. So nehmen Arbeitsmaschinen, die über Asynchronmotoren an das Netz gekoppelt sind, bei Frequenzen kleiner der Nennfrequenz oder Spannungen kleiner der Nennspannung weniger Leistung auf, als im Nennbetrieb und wirken so der ursprünglichen Leistungsänderung, welche die Abweichung vom Arbeitspunkt verursachte, entgegen. Lasten mit elektronischen Schaltnetzteilen haben hingegen in einem breiteren Arbeitsbereich von Frequenz und Spannung eine konstante Leistungsaufnahme.

In Übertragungsnetzsimulation werden Ersatzmodelle der unterlagerten Spannungsebenen angenommen. Es soll untersucht werden, welche Ersatzmodellierung das Verhalten des Ver-

teilnetzes am besten repräsentiert und welche Parametrierung angenommen werden soll. Hierzu werden Messungen in realen Nieder- und Mittelspannungsnetzen durchgeführt.

Die Arbeiten werden am Fraunhofer IWES durchgeführt.

### **Changed behaviour of distribution grid caused by enhancements of generation and load characteristics**

*Maria Nuschke, M.Eng.*

By the increasing integration of distributed generation units at low- and medium-voltage levels, the behaviour of the distribution network will be affected from the perspective of the superordinate network, see Figure 40. Decentralised generation units vary their active and reactive power feeds due to frequency and voltage deviations from nominal operation to participate in the frequency and voltage stability. Even municipal power plants that do not participate in the balancing power market, contribute to frequency stability by frequency active power control.

On the consumer side, power consumption is dependent on frequency and voltage and affects the network behaviour. Working machines coupled via asynchronous machines consume less power below the rated frequency or voltage than in nominal operation and thus affect against the original performance change which cause the deviation from the operating point. Antithetic, loads with electronic switch mode power supplies have a constant power in a wider range of frequency and voltage.

Aggregated network equivalents of subordinate voltage levels are utilised for transmission network simulations. It should be examined which modelling approach represents the behaviour of distribution networks in the best way and which parameterisation has to be adopted. For this purpose, measurements in real low and medium voltage networks are carried out. The investigations will be carried out at the Fraunhofer IWES.

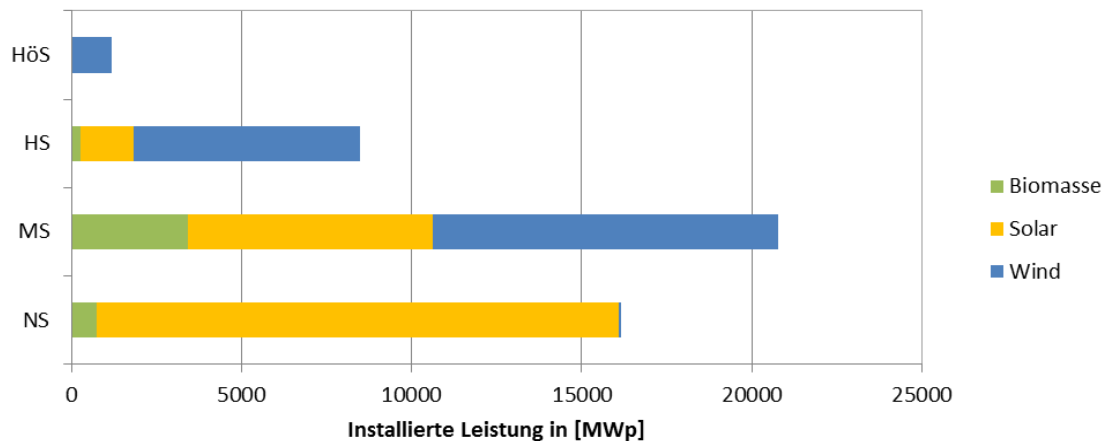


Abbildung 40: Installierte Leistungen erneuerbarer Energien je Spannungsebene, BRD, 2015.

Eigene Darstellung, Datengrundlage: [www.energymap.info](http://www.energymap.info)

Figure 40: Installed power of renewable generation units per voltage level, Germany, 2015.

Own depiction, data basis: [www.energymap.info](http://www.energymap.info)

### Spannungsstabilisierung beim induktiven Hochleistungsladen

*Dipl.-Ing. Jonas Wussow*

In Braunschweig sind bereits vier 18-m-Elektrobusse und ein 12-m-Elektrobus im Linienbetrieb, die stationär induktiv geladen werden. Diese Busse verkehren auf den innerstädtischen Ringlinien M19 und M29. Neben der Ladestation auf dem Betriebshof Lindenberg sind derzeit auf der Strecke zwei Ladestationen am Hauptbahnhof und eine an der Haltestelle Hamburger Straße installiert. Eine weitere Ladestation im Bereich Amalienplatz befindet sich derzeit in Planung. Die Versorgung der vorhandenen Ladestationen erfolgt über das DC-Netz der Straßenbahn oder über eine in der Nähe liegenden Kundenstation.

Eine potenzielle weitere Strecke zum Betrieb mit Elektrobussen ist die Linie 433, weil bei dieser Strecke die Ladeinfrastruktur an der Hamburger Straße und am Amalienplatz für Zwischenladungen genutzt werden kann. Anders als bei den Ringlinien M19 und M29 befinden sich die Endhaltestellen dieser Buslinie in vorstädtischen Gebieten, die vor allem aus Wohngebieten bestehen. Mögliche Ladestationen müssten somit im Niederspannungsnetz beziehungsweise in schwache Netzausläufer integriert werden. Die dortigen Netze sind jedoch für eine punktuelle Leistungsabnahme von mehr als 200 kW nicht ausgelegt.

Die Ergebnisse der simulativen Untersuchung des Netzes im Bereich Karl-Sprengel-Straße sind in Abbildung 41 dargestellt. Die gestrichelt Linie zeigt den Spannungsverlauf im Wohngebiet, wenn die Versorgung der Ladestation direkt aus dem Niederspannungsnetz erfolgt. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Versorgungsvariante weder möglich noch erlaubt ist, weil die Spannung während des Ladevorgangs auf Werte unterhalb von 360 V fällt und das Spannungsband somit verletzt wird. Gleichzeitig ist das Netz im Bereich des Wohngebietes aufgrund von nicht geeigneten Querschnitten sehr stark überlastet.

Für die Versorgung einer solchen Ladestation müssen Maßnahmen ergriffen werden, die den Spannungsfall kompensieren und eine Überlastung des bereits vorhandenen Niederspannungsnetzes verhindern. Ein Ansatz dafür ist die Verwendung eines aktiven Gleichrichters (Active-Front-End; AFE) und einer Stickleitung mit entsprechendem Querschnitt von der

Ortsnetzstation zur Ladestation. Die Topologie der Ladestation ist in Abbildung 42 dargestellt. Der AFE verfügt über die Möglichkeit, Blindleistung bereitzustellen und so im kapazitiven Betrieb dem Spannungsfall während des Ladevorgangs entgegenzuwirken. Der neue Spannungsverlauf mit Nutzung dieser Maßnahmen ist in Abbildung 41 als durchgehende Linie dargestellt. Spannungssprünge werden aufgrund der gewählten Maßnahmen kompensiert. Die Spannung im bestehenden Netz ist äquivalent zur Spannung ohne Ladevorgänge, wenn die genannten Maßnahmen genutzt werden.

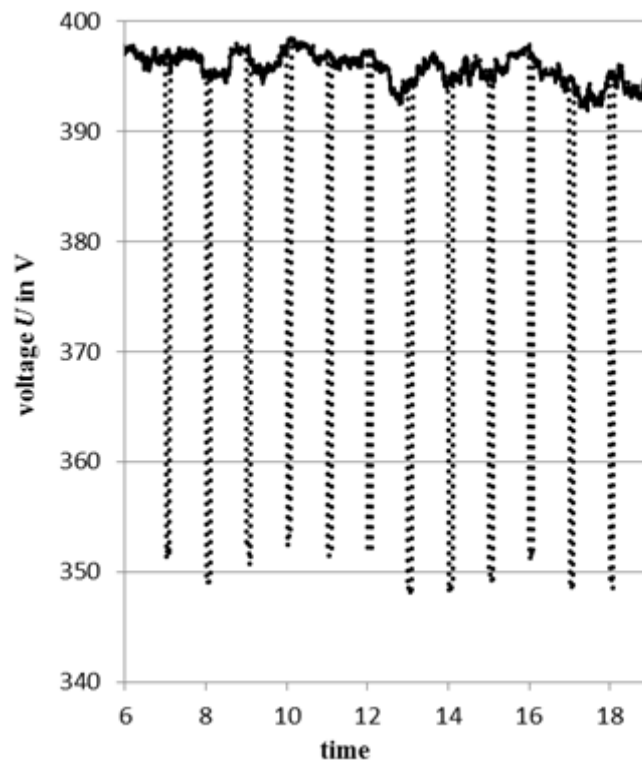


Abbildung 41: Spannungsverlauf am Rand des Wohngebietes mit Stabilisierungsmaßnahmen (durchgezogene Linie) und ohne Maßnahmen (gestrichelte Linie)

Figure 41: Voltage curve at edge of populated area WITH voltage stabilised measures (continuous line) voltage curve at edge of populated area WITHOUT voltage stabilised measures (dotted line)

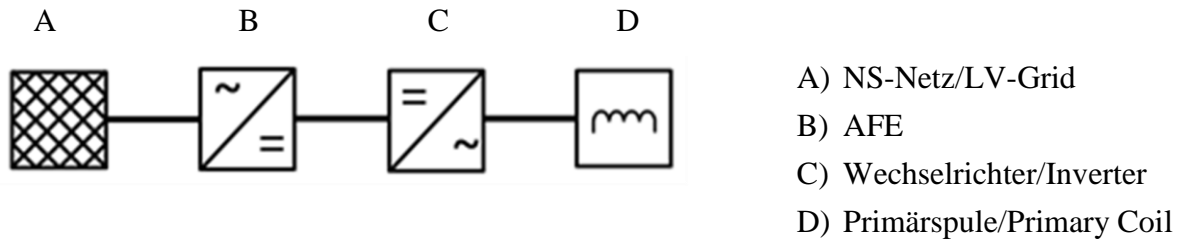


Abbildung 42: Topologie mit Active-Front-End

Figure 42: Topology with Active-Front-End

### Voltage stabilisation during high-power inductive charging

*Dipl.-Ing. Jonas Wussow*

The bus line 433 is one possible further route for using inductive charged battery-powered electric busses in Braunschweig. The terminal stops are in suburban or populated areas and therefore the charging station was in a weak grid branch. These grids are not dimensioned for punctual power consumption with 200 kW. The simulation shows that there are forbidden voltage drops during charging (dotted line in Figure 41). Also the cables of the existing grid are overloaded.

An Approach to the solution is using a stub cable with an adequate cross-section between local power transformer and charging station and using capacitive reactive power in order to avoid the overload and the voltage drops. For the provision of reactive power an active rectifier (Active-Front-End; AFE) is necessary. The topology for grid integration is shown in Figure 42.

By means of this measures the negative influence of the high-power inductive charging are compensated and the voltage during charging is alike the voltage in normal operation without charging (continuous line in Figure 41).

### Dezentrale PV-Batteriesysteme im Verbundkraftwerk zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen für das elektrische Energiesystem

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Raphael Hollinger, M.Sc., M.Eng.*

In Gebäuden mit PV-Anlagen werden zunehmend Stromspeicher installiert, um die volatile Solarstromerzeugung mit den jeweiligen Lastprofilen in Deckung zu bringen und so den lokalen Autarkiegrad zu erhöhen. Solarstromspeicher mit rein lokalen Betriebsführungsvorgaben nutzen jedoch ihr technisches Potential nicht voll aus. Daher ist es sinnvoll, freie Batteriekapazitäten einzusetzen, um Systemdienstleistungen für das Stromnetz zu erbringen. Die intelligente Vernetzung dieser verteilten Systeme untereinander, aber auch mit anderen Technologien (siehe Abbildung 43), kann dabei den Mehrwert für das Energiesystem noch erhöhen und

eröffnet ersten den Zugang zu manchen Märkten (z. B. durch die Mindestleistung bei Regelleistung).

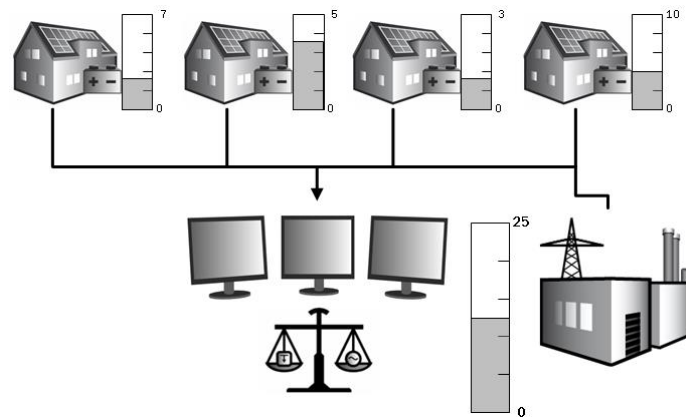


Abbildung 43: Vernetzte PV-Batteriesysteme in Kombination mit thermischen Kraftwerken zur Bereitstellung von Regelleistung

Figure 43: Solar battery systems in combination with thermal power plants providing power reserve

Bei dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben, liegt der Fokus auf der Nutzung modellprädiktiver Regelungsstrategien und der gepoolten Erbringung von Primärregelleistung mit Solar-Batterie-Systemen. Abbildung 44 stellt beispielhaft die kombinierte Erbringung von Primärregelleistung und der lokalen Autarkieerhöhung dar. Dabei wurde die Nutzung der Batterie zur Autarkieerhöhung in Abhängigkeit des Batteriefüllstandes beschränkt, bei kritischen Speicherfüllständen Korrekturladungen durchgeführt und auf Basis des aktuellen Leistungsniveaus kontinuierlich Primärregelleistung bereitgestellt.

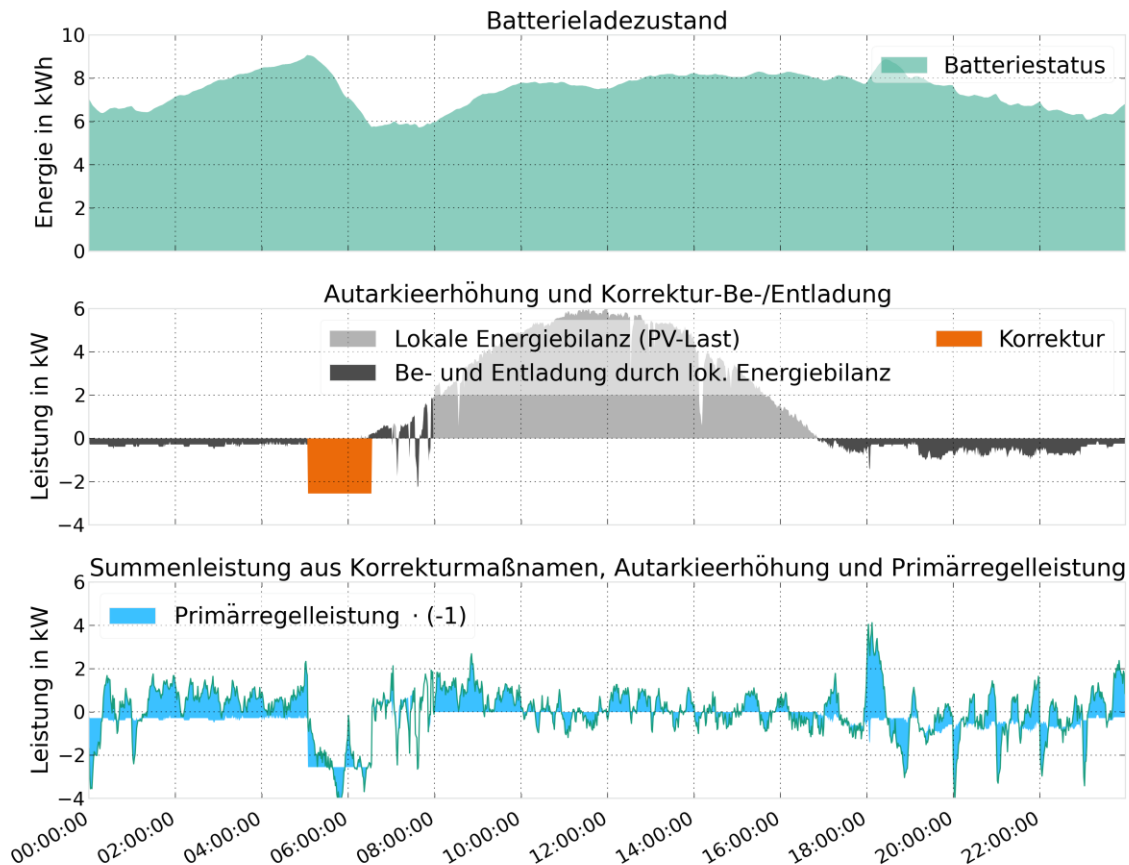


Abbildung 44: Beispielhafter Tag einer Jahressimulation der kombinierten Autarkieerhöhung mit Primärregelleistungsbereitstellung eines Solar Batteriesystems in einem Einfamilienhaus  
 Figure 44: Exemplary day of a yearly simulation of the combined provision of the local service of autarky increase and the system service primary reserve power by a solar battery system in a single family building

### Distributed Solar Battery Systems Providing Ancillary Services

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Raphael Hollinger, M.Sc., M.Eng.*

For a successful transition from a system based on conventional power plants to a system based on distributed and renewable power sources, the latter must, in addition to the production of energy, be able to provide ancillary system services (e.g. reserve power and reactive power supply), in order to:

- Be independent from conventional energy production (must-run capacity) in times of sufficient production of renewable energy.
- Develop additional sources of revenue, other than active power dispatch, for decentralized and renewable energy generators.

Stationary storage systems play an increasingly important role in the electric power system, to compensate for daily and seasonal fluctuations in energy generation. Particularly, decentralized storage systems have been installed in buildings with PV systems, which store generated



electricity for future own consumption, and reduce network load by minimizing feed-in into the public grid.

Batteries with only local management purposes (e.g. increase the autarky level of a local energy system) make only a limited use of their technical potential, since they exhibit a high flexibility for charging and discharging processes, and “flexibility” will be a valuable resource in the power grid of the future. Therefore, the use of this spare capacity, in terms of power and energy, could prove to be useful for providing ancillary system services. In the frame of this research project, the economic and technical feasibility of a fleet of PV-battery systems interconnected in a virtual power plant is developed and analysed. The combination of primary control power provision and increasing local self-sufficiency level as services, offered by decentralized PV-battery systems, has already been identified as an economically and technically attractive option.

### **Ausnutzung der sich ergänzenden Eigenschaften von PV- und Windkraftwerken hinsichtlich Spannungsqualität und der Bereitstellung von Wirk- und Blindleistung**

*Hartmudt Köppe, M.Sc.*

Die Erzeugungsstruktur wird durch den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energieanlagen in steigendem Maße geprägt. Statt weniger großer zentraler Erzeugungsanlagen müssen zukünftig viele kleine dezentrale Erzeugungsanlagen derart in das Netz integriert werden, dass eine hohe Zuverlässigkeit und Stabilität gewährleistet wird. Durch diese Entwicklungen wird die Marktsituation von Großkraftwerken stark beeinflusst, was negative Effekte auf deren Rentabilität hat. Infolge dessen kommt es zu einer Reduktion steuerbarer und beeinflussbarer Kraftwerkskapazitäten und damit zu einer Minderung der Kapazitäten für Regel- und Blindleistung innerhalb der Übertragungsnetzebene. Bereits heute wird Blindleistung vermehrt durch Kompensationseinrichtungen wie STATCOM und Spulen- und Kondensatorbänke bereitgestellt.

Statt des Einsatzes dieser zum Teil sehr kostenintensiven Technologien, können auch leistungselektronische Komponenten wie Umrichter dazu eingesetzt werden, durch die Bereitstellung von induktiver oder kapazitiver Blindleistung zur Spannungshaltung beizutragen. Statt die Anlagen isoliert zu betrachten und eine statische Spannungshaltung umzusetzen, können auch mehrere Anlagen zu einem Anlagenpool – einem sogenannten Flächenkraftwerk – zusammengefügt werden. Dadurch wird eine dynamische Blindleistungseinspeisung möglich.

Für die effiziente Umsetzung sind noch umfassende Forschungsarbeiten notwendig. Genau hier setzt das Forschungsvorhaben „PV-Wind-Symbiose“ an, bei dem die Synergieeffekte von Windkraft- und Photovoltaikanlagen näher untersucht werden. Ziel ist es, durch die Entwicklung innovativer Konzepte diese Synergieeffekte effizient zu nutzen.

## Exploitation of the complementary characteristics of photovoltaic power plants and wind turbines regarding power quality and provision of active and reactive power

*Hartmudt Köppe, M.Sc.*

By virtue of the increasing share of renewable energies the German electricity system is being heavily transformed. Due to this transformation the market situation of great power plants is negatively influenced and they're becoming more and more uneconomical. The result is that the controllable and suggestible power capacity is being decreased. This leads to a reduction of the capacitive of operating reserve and reactive power. Nowadays reactive power is increasingly provided by compensation techniques like STATCOM and coil and capacitor banks. An alternative to these partial expensive techniques is the provision by power electronics. That is already being used today but only for static voltage stability and with an isolated system view. The challenge is to connect decentral generation plants to a so called area plant. In this way a dynamic reactive power feeding is possible.

For the efficient realization extensive research is still needed which is done in the research project PV-Wind-Symbiose (photovoltaic wind symbiosis). The aim of the project is to develop innovative concepts to use the synergy effects of photovoltaic systems and wind turbines.

## Blindleistungsmanagement im aktiven Verteilnetz

*Fridolin Muuß, M.Sc.*

Im Forschungsprojekt Smart Nord im Teilprojekt 3 – Handel von Wirk- und Systemdienstleistungen im Arbeitspaket 1 mit dem Titel: Analyse und Entwicklung von Produkten für eine verstärkte Bereitstellung von Systemdienstleistungen, wird untersucht inwieweit die Erbringung von Systemdienstleistungen aus und der regionale Wirkleistungshandel in einem aktiven Verteilnetz möglich ist. Dieses Forschungsthema wird im Projekt PV-Wind-Symbiose zusammen mit Forschungspartnern, innovativen Herstellern von Wechselrichtersystemen und Windkraftanlagen, sowie innovativen Netzbetreibern fortgeführt. Der Forschungsansatz der Blindleistung basiert dabei auf der

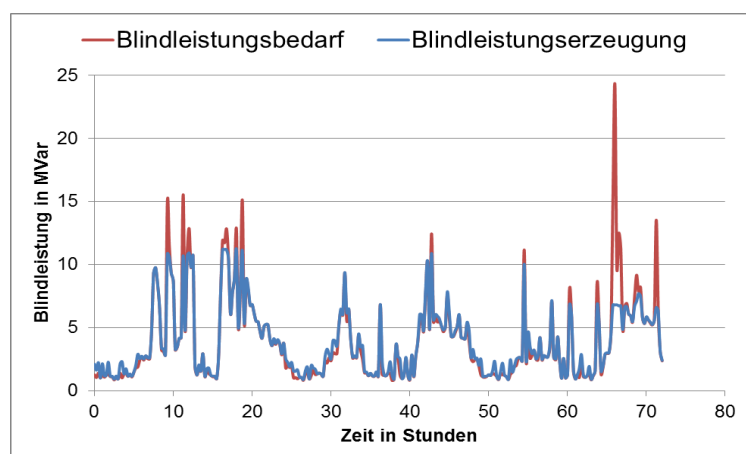


Abbildung 45: Nachfrageorientierte Blindleistungsbereitstellung

Figure 45: Demand based reactive power supply

Möglichkeit die Blindleistung durch bereits in den Erneuerbaren Energien existierende Wech-

sel- und Umrichter zu steuern, um regionale Potentiale zu nutzen und wird in dem Projekt PV-Wind-Symbiose weiterentwickelt. Dabei steht nicht nur die Umsetzbarkeit dieser Option im Vordergrund, sondern darüber hinaus verschiedene übergeordnete Steuerungen wie das clusterbasierte Blindleistungsmanagement sowie die angebots- oder nachfrageorientierte Blindleistungsbereitstellung eines gesamten Netzgebietes. Dadurch können zum einen der Bezug von Blindleistung am Trafo verringert oder sogar verhindert, oder eine verlustminimale, konstante Blindleistungsbereitstellung am Trafo für übergeordnete Spannungsebenen verfügbar gemacht werden.

### **Ancillary services and active power trading in regional context**

*Fridolin Muuß, M.Sc.*

Smart Nord was a research project where we have collaborated with different institutions in Lower Saxony. Our task in the project was to investigate the possibilities of providing ancillary services through the decentralized generations in active distribution network. In order to share our experience in this research topic, we have started a new research project “PV-Wind-Symbiose“ together with research partners, such as manufacturers of converter systems and wind generators, and network operator. The research approach is investigation on the reactive power management through converter based renewable energy resources. In this context, different approaches will be developed such as dynamic virtual reactive power plant and multiobjective optimization tool for controlling the reactive power of a huge number of renewable energy based distributed resources. The implementation of the developed methods will enable the distribution network operator to provide reactive power as ancillary service into the HV transmission networks and use the reactive power for enhancing network operation and voltage control.

### 3.7 Dissertationen – Dissertations

#### **Nachhaltige Netzplanung in der Niederspannungsebene unter Berücksichtigung hochaufgelöster Zeitreihen**

Tag der Prüfung: 21.09.2015

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

3. Prüfer: Dr.-Ing. Harald Waitschat

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz

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

Die Anforderungen an die elektrischen Verteilungsnetze sind im Zuge der Energiewende und den damit einhergehenden Veränderungen der politischen und technologischen Rahmenbedingungen stetig gestiegen. Ein nachhaltiger sowie umweltschonender Umgang mit den vorhandenen Ressourcen stellt die Prämisse des zukünftigen Handelns in der Energieversorgung dar und bildet die Grundlage dieser Arbeit.

Ausgehend von der These, dass zukünftig vermehrt Wärmepumpen- und Photovoltaikanlagen Einzug in Neubauvorhaben halten werden, zeigt die erstmalige Anwendung der Annuitätenmethode in Verbindung mit Photovoltaik-Eigenverbrauchskennlinien das Potenzial dieser kombinierten Technologien auf. Die zu grunde gelegten Annahmen konnten im Rahmen einer Messkampagne an einem Referenzhaushalt validiert werden. So kann der Eigenverbrauch von ausschließlich elektrisch versorgten Haushalten im Gegensatz zu konventionellen Haushalten um bis zu 12 % gesteigert werden.

Weiterhin zeigen Leistungsmessungen des Referenzhaushaltes einen Wandel der künftigen Netzbelastung durch elektrisch versorgte Wohngebäude auf. Bei Integration einer Wärmepumpenanlage steigt der Energieverbrauch eines durchschnittlichen Haushaltes entsprechend den Ergebnissen der Messkampagne um 116 %.

Der bidirektionale Energiefluss in den Verteilungsnetzen beeinflusst zunehmend den sicheren Netzbetrieb. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist ein Paradigmenwechsel bei der derzeitigen Netzplanungspraxis erforderlich. Aufbauend auf den durchgeführten Messungen werden Modelle zur Abbildung der Netzbelastung konventioneller Haushalte, Wärmepumpen- und Photovoltaikanlagen entwickelt. Die resultierenden synthetischen Zeitreihen in einminütiger Auflösung bilden die Grundlage weiterführender Untersuchungen bzgl. künftiger Netzlastanteile derartiger Haushalte. Im Ergebnis liegen angepasste Netzlastanteile für konventionelle Verbraucher sowie erstmalig für neue Technologien kombiniert vor. Diese Belastungsannahmen weisen einen hohen Praxisbezug auf und fließen in ein vereinfachtes Netzrechnungsverfahren ein.

Detailliertere Untersuchungen zur nachhaltigen Netzauslegung sind zudem unter Anwendung mehrerer entwickelter Skripte möglich. Die vorliegenden Werkzeuge ermöglichen eine automatisierte Lastflussberechnung, Ergebnisauswertung sowie Blindleistungsregelung für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. Damit sind Szenarienanalysen der neuen Technologien denkbar, die eine nachhaltige Niederspannungsnetzplanung ermöglichen und somit einen Beitrag zur Reduzierung des ansonsten notwendigen Netzausbaus leisten.

### **Sustainable planning of low-voltage grids considering high-resolution time series**

In course of the German energy turnaround (“Energiewende”) the requirements on electrical distribution networks have increased steadily due to changing technological and political conditions. A sustainable use of resources is implied for future action in the energy sector and forms the basis for this research.

Distributed power generation plants like PV systems as well as heat pumps are increasingly finding their way into future households. The potential of this aggregation of technologies is demonstrated by applying the annuity method in combination with self-consumption characteristics of PV. Measurements in a reference household proved the underlying assumptions. In comparison to conventional households self-consumption of completely electrically powered households can be increased by up to 12 %.

Furthermore, electrical powered homes lead to a change in future network loads. This statement is validated by power measurements in the reference household. The energy consumption of an average household increases by 116 % as soon as a heat pump is integrated.

The bidirectional flow of energy in distribution networks affects their safe operation progressively. The current practice of network planning needs to be modified in order to meet these upcoming challenges. Simulation models, which represent network loads of households, heat pumps and PV systems, have been generated based on the completed measurements. Including the created synthetic profiles with a resolution of one minute, further analyses concerning future network loads of these households have been conducted. As a result, adjusted components of network loads have been developed for conventional consumers as well as for new technologies. These load assumptions imply a high practical relevance and have been used for a simplified method of network calculation.

More detailed examinations for sustainable network planning have been possible by using the designed tools. They enable an automated load flow calculation and result analysis as well as controlling reactive power of grid connected PV systems. Thus, scenario analyses can be used in future studies in order to examine the impact of new technologies which support the reduction of grid expansion.

With the completion of this work, a sustainable planning of low-voltage networks is possible and helps to reduce an otherwise required grid extension.

## **Technisch-ökonomische Analyse eines virtuellen Kraftwerks bestehend aus dezentralen KWK-Anlagen zur aktiven Vermeidung von Fahrplanabweichungen im Bilanzkreis**

Tag der Prüfung: 06.11.2015

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr. Uwe Leprich

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Walter Schumacher

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

Die Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Erhöhung des Integrationspotenzials fluktuierender erneuerbarer Energien durch den Einsatz eines aktiven BHKW-Erzeugungsmanagements auf Bilanzkreisebene.

Neben den technischen Aspekten, wie der Netzintegration, bringt der fortschreitende Zubau erneuerbarer Energiesysteme eine Vielzahl energiewirtschaftlicher Herausforderungen mit sich. So gestaltet sich u. a. die zukünftige Marktintegration fluktuierender Energieerzeugungsanlagen zunehmend komplexer. Aufgrund der Unschärfe in Erzeugungsprognosen ist es nicht möglich, die Einspeisung exakt zu bilanzieren. Dies führt auf Bilanzkreisebene zu Fahrplanabweichungen und nicht kalkulierbaren Kosten. Immer häufiger wird daher Regelleistung abgerufen, um Prognoseungenauigkeiten auszugleichen und das Gesamtsystem im Gleichgewicht zu halten.

Diese aktuelle Situation wird mit der Forschungsarbeit aufgegriffen und entsprechende Lösungsansätze entwickelt. Dabei wird untersucht, inwiefern Fahrplanabweichungen im Bilanzkreis durch den Einsatz von flexibel ansteuerbaren Erzeugungsanlagen ausgeglichen werden können.

Die flexible Leistungserbringung wird über ein selbstentwickeltes Modell eines virtuellen Kraftwerks, bestehend aus Blockheizkraftwerken, in die Betrachtungen integriert. Ziel ist es, die nach der Intraday-Optimierung verbleibenden Fahrplanabweichungen mittels aktiv gesteuerter Blockheizkraftwerke ad hoc auszugleichen. Hierzu wurde ein computergestütztes Simulationsmodell eines frei skalierbaren Bilanzkreises und eines virtuellen Kraftwerks entwickelt. Diese ermöglichen detaillierte Untersuchungen im Hinblick auf ein innovatives Bilanzkreismanagement.

Für die ökonomische Analyse werden verschiedene Varianten der Bewirtschaftung eines Bilanzkreises modelliert. In diesem Rahmen werden sowohl die Day-Ahead-Fahrplananmeldung, die Optimierung am Intraday-Markt als auch die Verrechnung über die Ausgleichsenergie und den Day-After-Markt nachgebildet.

Durch den Einsatz simulativer und quantitativer Verfahren wird gezeigt, dass steuerbare BHKW aus technischer Sicht ein ideales Instrument zur Marktintegration fluktuierender erneuerbarer Energien sind. Abschließend wird ein monetäres Anreizmodell abgeleitet, welches

durch eine Prämierung flexibler Erzeugungsleistung ein geeignetes Instrument zur Förderung und Flexibilisierung vorhandener Block-heizkraftwerk-Kapazitäten darstellt.

### **Technical-economic analysis of a virtual power plant consisting of decentralized CHP units for reducing balancing group deviations**

The present work deals with the increase in the potential of integrating fluctuating renewable energies into the balancing group by using an active operations management of cogeneration units.

The continuing growth of renewable energies leads to both technical as well as economic challenges. Thus, the future market integration of fluctuating power generation plants is becoming more and more complex. Due to the inaccuracy of the production forecasts it is often not possible to balance the feed-in accurately. On balancing group level this leads to deviations in schedules and unplanned costs. The control energy system is required more often in order to compensate prediction inaccuracies.

In this work it is investigated how fluctuating renewable energies, such as wind and photovoltaic systems, contribute to balancing group deviations.

In addition, the model of a virtual power plant of cogeneration units will be integrated into the observations. The aim is to compensate for the remaining forecast and schedule deviations by means of actively controlled cogeneration units, after intraday optimization has been done. For this purpose a computerized simulation of a freely scalable balancing group, including the relevant energy markets and the simulation of a virtual power plant has been created. Based on this model comprehensive investigations are carried out regarding an innovative balancing group management.

Furthermore, various options to manage a balancing group are analyzed. This includes the usual Day-Ahead schedule announcement and the Intraday market optimization, as well as the billing via balancing energy and the Day-After market.

By using simulative and quantitative methods it can be shown that, from a technical perspective, controllable cogeneration units are an ideal instrument for further market integration of fluctuating renewable energies. Nevertheless, it turns out that from today's perspective there is no economic incentive to operate such a virtual power plant exclusively for balancing group management. Final reflections in this work show that only a remuneration of flexible power supply provides sufficient economic incentives to realize the full potential for the integration of fluctuating renewable energies by means of actively controlled cogeneration units

## 4 Besondere Ereignisse 2015 – Special Events 2015

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 – Calendar of Special Events

#### 06.01.

VDE Vorstandssitzung, Besprechungsraum elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 07.01.

Exkursion zu SMA (VL: Systemtechnik der Photovoltaik)

*Teilnehmer: B. Engel, S. Laudahn, Studierende*

#### 12.01.

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 21.01.

VDE Neujahrsempfang, Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 23.01.

Akkreditierung Studiengang Elektromobilität

*Teilnehmer: M. Kurrat, N. Hill, J. Wussow, S. Koch, M. Bunk, L. Soleymani*

#### 27.01.

Studienseminar elenia (1/2), Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

#### 27.01.-28.01.

2. Konferenz „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, S. Laudahn*

#### 02.02.

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

#### 03.02.

Studienseminar elenia (2/2), Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

#### 04.02.

Lenkungskreis Stadt der Zukunft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 09.02.-10.02.

Smart Nord Abschlusstreffen, Hannover

*Teilnehmer: B. Engel, F. Muuß, S. Koch*

#### 11.02.

Eröffnung NFF-Neubau, Braunschweig

*Teilnehmer: J. Mummel, U. Westerhoff*

#### 11.02.

Projektvorstellung DALION – Besuch Frau Dr. Schroeder (PTJ), IWF

*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff, K. Kurbach*



**19.02.**

VDE Vorstandssitzung, Siemens AG,  
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**20.02.**

Entwicklung Smart Meter Rollout,  
BS|Energy Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel*

**20.02.**

Arbeitskreis „Belastung bei Eigenversor-  
gung“, EFZN Goslar

*Teilnehmer: B. Engel*

**24.02.-25.02.**

288. PTB-Seminar „HVDC-Erzeugung,  
Messung und Anwendung“, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, O. Binder, C. Klo-  
sinski, N. Hemdan*

**24.02.-25.02.**

FNN TAB-Fachforum, FNN Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**26.-27.02.**

Workshop Stadt der Zukunft, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**26.-27.02.**

5th INT'L SMART GRID EXPO Tech-  
nical Conference, Tokio

*Teilnehmer: B. Engel*

**03.03.**

Labor Erfahrungsaustausch, Siemens AG,  
Amberg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06.03.**

YoungDocs-Workshop, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Bösche, B.*

*Kühn, B. Osterkamp, T. Pieniak, T. Runge,*

*C. Schierding, J. Seidel, L. Soleymani*

**09.03.**

Dr. Prüfung Carsten Wissing, Carl von  
Ossietzky Universität Oldenburg

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**12.03.**

Workshop Arbeitszufriedenheit, Braun-  
schweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, E. Wil-  
kening, M. Klages, P. Thiele, F. Haake, K.*

*Kozowksy, R. Meyer, J. Musebrink, C. Ryll,*

*B. Wedler*

**17.03.**

20. Fachgespräch der Clearingstelle EEG,  
Berlin (Thema: Technische Aspekte im  
EEG: Messung und Technik)

*Teilnehmer: B. Engel, F. Lobas-Funk, F.*

*Schilling, F. Soyck*

**17.03.**

Besichtigung VDE Batterietestzentrum –  
Offenbach

*Teilnehmer: F. Lienesch, U. Westerhoff, K.*

*Kurbach, D. Hauck*

**18.03.-19.03.**

PMO – Workshop, elenia

*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, PMO-*

*Mitarbeiter, Schwerpunktleiter*

**24.03.-01.04.**

Doktorandengespräche AG Energietechnologien, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, Doktoranden*

**13.04.-17.04.**

Hannover Messe – Gemeinschaftsstand Niedersachsen, Hannover

*Teilnehmer: U. Westerhoff, F. Muuß*

**15.04.**

Lenkungskreis Stadt der Zukunft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**16.04.-17.04.**

YoungDocs-Workshop, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Bösche, C. Klosinski, H. Köppe, B. Kühn, K. Kurbach, B. Osterkamp, T. Pieniak, C. Reinhold, T. Runge, C. Schierding, J. Seidel, L. Soleymani*

**17.04.**

Fachvertreterversammlung

*Sprecher: M. Kurrat*

**19.04.**

Campuslauf der TU Braunschweig, Sportzentrum

*Teilnehmer: B. Engel, O. Marggraf, B. Munzel, F. Lobas-Funck, S. Wermuth, T. Runge*

**20.04.**

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

**21.04.**

Feierstunde – 40 Jahre Zusammenarbeit mit Rockwell, Steigenberger Parkhotel Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Lindmayer, E. Wilkening, H. Köpf, N. Hill, C. Klosinski*



**21.04.**

Start der neuen Lehrveranstaltung „Gleichstrom – und Speichersysteme“, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, K. Kurbach, L. Soleymani, Studierende*

**21.04.**

3. Innovationsdialog „Zukunft der Solarenergie“, Mainova Frankfurt a. M.

*Teilnehmer: B. Engel*

**22.04.-23.04.**

Statusseminar der Förderinitiative Energiespeicher, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**23.04.-24.04.**

Isolierstoffkolloquium, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, C. Schierding, N. Hill*

**24.04.**

Kundenbeiratssitzung SGB, Regensburg

*Teilnehmer: B. Engel*

**28.04.**

Mentorentreffen Prof. Kurrat, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat, N. Hill, Studierende*

**28.04.**

VDE Vorstandssitzung, Elektro- & Datentechnik, c/o Netzlink Informationstechnik GmbH Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**28.04.-29.04.**

7. Göttinger Energietage, Göttingen  
*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann, H. Köppe*

**29.04.**

Vorstandssitzung Erwin Marx Stiftung, elenia  
*Vorsitzender: M. Kurrat*

**29.04.**

12. Sitzung der AG Systemsicherheit  
*Teilnehmer: B. Engel*

**30.04.**

Konsortialtreffen im Projekt PV-Regel, elenia  
*Teilnehmer: B. Engel, J. Seidel, B. Osterkamp*



**04.05.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**04.05.**

8. NET-Sitzung Programmkomitee, Hannover  
*Teilnehmer: B. Engel*

**11.05.**

AG Systemsicherheit  
*Teilnehmer: B. Engel*

**11.05.-12.05.**

FNN-Fachkongress, Leipzig  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Lobas-Funck, F. Soyck, H. Loges*

**12.05.**

Gründungsveranstaltung „Forschungsnetzwerk Energie- Stromnetze“, BMWI Bonn  
*Teilnehmer: B. Engel*

**19.05.**

YoungDocs-Workshop, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, K. Kurbach, D. Bösche, H. Köppe, C. Reinhold, C. Schierding, J. Seidel, L. Soleymani*

**20.05.**

EFZN Vorstandssitzung, Göttingen  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**26.05.-27.05.**

Pfingstexkursion, Berlin  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, T. Kopp, H. Köppe*

**27.5.**

European Commission Conference on  
Technology Challenges Renewables,  
Brüssel

*Teilnehmer: B. Engel*

**29.05.**

Verabschiedung Herr Kozowsky, Hoch-  
spannungshalle

*Teilnehmer: Alle*

**02.06.**

Ringvorlesung, Hochspannungshalle

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, diverse  
Mitarbeiter – elenia, Studierende*

**05.06.**

Gründung Energieforschungsknoten, Se-  
minarraum elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**05.06.**

Fachvertreterversammlung

*Sprecher: M. Kurrat*

**08.06.**

21. Fachgespräch Clearingstelle EEG,  
Thema: Speicher, Berlin

*Teilnehmer: F. Lobas-Funck, F. Schilling,  
F. Soyck*

**08.06.**

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.06.**

Expertennetzwerk Integration DEA, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.6.**

VDI Konferenz flexible Verteilnetze, Düs-  
seldorf

*Teilnehmer: B. Engel*

**11.06.-12.06.**

FNN-Förderkreis, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**15.06.**

Begrüßung Nassipkul Dyussebekova,  
DAAD Stipendiatin, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**16.06.**

Fachvortrag „Dezentrale Energieversor-  
gung“, Managua (Nicaragua)

*Teilnehmer: S. Laudahn*

**16.-17.06.**

Supraleiterseminar, Haus der Kulturen,  
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, N. Hill, E. Wilke-  
ning, B. Kühn, C. Klosinski,  
C. Schierding, H. Köpf*

**18.06.**

Exkursion zur Alstom AG (VL: Elektri-  
sche Bahnen), Salzgitter

*Teilnehmer: B. Engel, H. Köppe, C. Rein-  
hold, Studierende*

**22.06.**

Exkursion Pumpspeicherkraftwerk Tal-  
sperre (VL: innovative Energien)

*Teilnehmer: B. Engel, Studierende*

**24.06.**

Einweihung Battery LabFactory (BLB),  
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff, D.  
Hauck, K. Kurbach*

**24.06.**

Behördenstaffelmarathon, Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*



**25.06.-26.06.**

Photovoltaik-Symposium Beirat

*Teilnehmer: B. Engel*

**26.06.**

Fachvertreterversammlung

*Sprecher: M. Kurrat*

**26.06.**

7. Technologietagung des IEE, TU Clausthal

*Teilnehmer: B. Engel*

**27.06.**

TU-Night, Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**29.06.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**29.06.**

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

**29.06.**

Exkursion zur PTB (VL Hochspannungstechnik 2), Braunschweig

*Teilnehmer: B. Kühn, T. Pieniak, Studierende*



**30.06.-02.07.**

PowerTech 2015 Konferenz, Eindhoven

*Teilnehmer: M. Kurrat, N. Hemdan,  
F. Muuß*

**01.07.**

Exkursion zur VW Kraftwerk GmbH (VL: Technologien der Verteilungsnetze), Wolfsburg

*Teilnehmer: B. Osterkamp, A. Dammasch,  
S. Wermuth, Studierende*

**02.07.**

Besuch einer japanischen Wissenschafts-Delegation, elenia

*Teilnehmer: H. Haupt, M. Hilbert, N. Hill,  
O. Marggraf*

**03.07.**

Workshop „Literaturrecherche“ (Young-Professionals), elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, K. Kurbach, T. Pieniak, T. Runge, L. Soleymani*

**07.07.**

Jährliche Sicherheitsunterweisung, elenia

*Teilnehmer: Alle*

**07.07.**

VDE Vorstandssitzung, Technische Universität Clausthal

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.07.**

Studienseminar elenia (1/2), Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**08.07.-09.07.**

„Netzbetrieb bei hohem Anteil Leistungselektronik“ ECPE, Würzburg

*Teilnehmer: B. Engel*

**14.07.**

Studienseminar elenia (2/2), Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**15.07.**

Lenkungskreis Stadt der Zukunft

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**23.07.**

Semesterabschlussgrillen, Hochspannungshalle

*Teilnehmer: alle*

**24.07.**

Exkursion „Alstom unterirdisch“, Salzgitte

*Teilnehmer: B. Engel, Mitarbeiter AG-Energiesysteme*



**27.07.**

elenia Sieg beim 1. NFF-Fußball-Cup, TU Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*



**29.07.**

Studienkommission Mobilität und Verkehr

*Teilnehmer: B. Engel*

**24.08.-28.08.**

19th International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, N. Hill, C. Schierding*



**25.08.**

Exkursion zu Phoenix Contact E-Mobility GmbH

*Teilnehmer: Mitarbeiter des Schwerpunktes „Elektromobilität“*

**01.09.**

elenia Team Building 2015, Braunschweig

*Teilnehmer: Alle*



**04.09.**

Projektabschluss Schwerpunkteinführung, elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, D. Unger, Mitarbeiter – elenia*

**07.09.-10.09.**

XXIst Symposium on Physics of Switching Arc, Brno

*Teilnehmer: M. Kurrat, T. Runge*

**10.09.**

Programmbesprechung – wissenschaftliche Beiräte: 3. Konferenz „zukünftige Stromnetze für erneuerbare Energien“

*Teilnehmer: B. Engel*

**11.09.**

6. Energie Tag der Region Peine, Peine

*Teilnehmer: B. Engel*

**11.09.**

Energieforschungsknoten Braunschweig, Seminarraum elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, F. Muuß, H. Loges*

**15.09.**

Expertennetzwerk Integration DEA, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**15.09.-16.09.**

ETG-Fachtagung – Elektrische Fahrzeugarchitekturen für Schienenfahrzeuge

*Teilnehmer: B. Engel*

**19.09.**

Kolloquium zum 90. Jubiläum der Institutsgründung, elenia

*Teilnehmer: Alle*



**21.09.**

Kick-off Veranstaltung

EnEff Campus 20/20, Institut für Gebäude und Solartechnik TU Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, B. Munzel, S. Koch*

**21.09.**

Dr. Prüfung Bunk, elenia

*Teilnehmer: alle*



**22.09.**

1. NFF-Forschungsfeldsitzung, Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik

*Teilnehmer: M. Kurrat, J. Mummel*

**22.09.-23.09.**

AG-Klausur Energiesysteme, Northeim

*Teilnehmer: B. Engel, Mitarbeiter der AG-Energiesysteme*



**23.09.**

22. Fachgespräch Clearingstelle EEG, Thema: Eigenversorgung, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, F. Lobas-Funk, F. Schilling, F. Soyck*

**24.09.**

Dena-Expertenworkshop: „Aktives Blindleistungsmanagement im Verteilnetz: technische und prozessuale Anforderungen“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, F. Muuß*

**24.09.**

ZVEI-Mitgliederversammlung und parlamentarischer Abend „Stromnetze der Zukunft – digital und vernetzt“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**26.09.**

Grußwort zum Festkolloquium 25/60, IDA / Prof. Ernst, Steigenberger Parkhotel Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**28.09.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**28.09.**

e-home Forschungstreffen, Hannover

*Teilnehmer: B. Engel, H. Loges*

**29.09.**

VDE Vorstandssitzung, Siemens AG Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*



**30.09.-01.10.**

8. Niedersächsische Energietage, EFZN  
Goslar  
*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann, H. Köppe, C. Reinhold*

**02.10.**

Fachforum Netze, BEE Berlin  
*Teilnehmer: B. Engel*

**06.10.**

Schaufensterdialog, Haus der Wissenschaft  
*Podiumsteilnehmer: B. Engel*

**08.10.-09.10.**

23. VDE-Fachtagung mit Ausstellung  
Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe  
*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Bösche, C. Klosinski, H. Köpf, D. Hauck*

**15.10.**

1. Forschergruppen-Workshop „Batterie-  
technik“, elenia  
*Teilnehmer: D. Hauck, L. Soleymani, U. Westerhoff, K. Kurbach*

**16.10.**

Dr. Prüfung Mauro Calabria, Institut für  
Regelungstechnik, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel*

**20.10.**

Workshop Strahlungssimulation, Universi-  
tät Brno  
*Referent: Dr. Kloc*  
*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert, H. Köpf, T. Kopp, T. Pieniak, N. Hill, T. Runge*

**22.10.**

1. Sitzung Forschungsfeld Elektromobilität  
*Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff*

**23.10.**

FNN Forumssitzung, Berlin  
*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat*

**25.10.**

Vortrag im Rotary Club, Braunschweig  
*Teilnehmer: B. Engel*

**26.10.**

EFZN Aufsichtsratssitzung, Hannover  
*Teilnehmer: B. Engel*

**28.10-30.10.**

Workshop „Übungen gestalten“ (Young-  
Professionals), Breklum  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, K. Kurbach, T. Pieniak, T. Runge, L. Soleymani*



**30.10.**

Energieforschungsknoten Braunschweig  
Seminarraum elenia  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Muuß, H. Loges*

**30.10.**

Absolventenverabschiedung Fakultät für  
Elektrotechnik, Audimax  
*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**03.11.**

Mitgliederversammlung Braunschweiger Hochschulbund, PK4 Architekturpavillion TU Braunschweig

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

**03.11.-04.11.**

Photovoltaikkonferenz des DFBEE, Paris

*Teilnehmer: B. Engel*

**05.11.**

10 Jahre iTUBS, Gastwerk Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, P. Thiele*

**05.11.**

BEE „Kompetenzzentrum Stromnetze“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**06.11.**

Dr. Prüfung Dammasch, elenia

*Teilnehmer: alle*



**11.11.**

Jahreshauptversammlung VDE Bezirksverein Braunschweig, Haus der Kulturen Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, S. Diekmann, M. Hilbert*

**12.11.**

Vorträge beim Informationstag „Zukünftige Anforderungen an Erzeugungsanlagen“, Wien

*Teilnehmer: S. Laudahn, O. Marggraf*



**13.11.**

Fachvertreterversammlung

*Sprecher: M. Kurrat*

**17.11.-18.11.**

ETG Congress 2015 – Die Energiewende, Bonn

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, J. Seidel, M. Bunk, F. Lobas-Funck, J. Wussow, D. Unger, F. Soyck, S. Diekmann, D. Hauck, H. Loges, A. Dammasch, S. Laudahn, J. Mummel*

**19.11.**

NFF Doktorandentag, Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik

*Teilnehmer: M. Kurrat, J. Mummel, H. Köpf, U. Westerhoff*

**25.11.**

6. Deutsch-Arabisches Forum Energie, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**02.12.**

Dr. Prüfung Thomas Rettenmaier  
Technische Universität Darmstadt  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**17.12.**

Betriebsversammlung mit anschließender  
Weihnachtsfeier, elenia  
*Teilnehmer: Alle*

**02.12.-03.12**

FNN-Fachkongress Netztechnik, Nürnberg  
*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, J. Seidel,  
F. Muuß, H. Köppe, B. Osterkamp, O.  
Marggraf*

**03.12.**

Vorstandssitzung FNN, Nürnberg  
*Teilnehmer: B. Engel*

**03.12.**

YoungDocs-Workshop, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Bösche, H.  
Köppe, C. Reinhold, C. Schierding*

**04.12.**

FNN Lenkungskreis NS/MS, Nürnberg  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**04.12.**

Diskussion im BMWi zum Thema Spei-  
cher  
*Teilnehmer: B. Engel*

**08.12.**

GEENI – Projektabschlussveranstaltung  
*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**10.12.-11.12.**

LithoRec 2 Einweihung / Projekttreffen  
*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Hauck, U.  
Westerhoff*

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

### **Pfingstexkursion des elenia und des Instituts für EMV nach Berlin vom 26. bis zum 28. Mai**

*Dipl.-Ing. Tobias Kopp; Hartmudt Köppe, M. Sc.; Dipl.-Ing. Georg Zimmer; Dr.-Ing. Robert Geise*

Die Woche nach Pfingsten wird von der Technischen Universität Braunschweig als Exkursionswoche genutzt. Studierende haben die Möglichkeit, 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 mit dem Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit organisiert. Die Studierenden hatten die Gelegenheit vom 26. bis zum 28. Mai Firmen in und um Berlin näher kennenzulernen.

Dienstagfrüh startete die Reisegruppe mit insgesamt 37 Teilnehmern nach Berlin. Das erste Ziel war die Firma Siemens. Dort gab es die Möglichkeit für die Exkursionsteilnehmer entweder das Schaltwerk oder das Meßgerätewerk zu besichtigen. Im Schaltwerk wurden uns verschiedene Arten von luft- und gasisolierten Schaltanlagen ausgiebig vorgeführt. Im Meßgerätewerk war die Fertigung von Überwachungs- und Steuergeräten für Schaltanlagen zu sehen.

Nach diesem Einstieg ging es direkt in die Innenstadt von Berlin, zum Umspannwerk Friedrichshain. Dort wurden wir von Herrn Kuhn und Herrn Schrank in das Umspannwerk geführt und uns ist die 380-kV-Höchstspannungsschaltanlage erläutert worden. Am zweiten Tag der Exkursion wurden wir mit unserem Bus nach Dahlewitz zu Rolls-Royce gefahren. An diesem Standort werden Flugzeugturbinen beispielsweise für den A320 gefertigt.

Am letzten Tag der Exkursion wurden wir von der Firma Younicos nach Berlin-Adlershof eingeladen. Dort wurden uns in 3 Fachvorträgen die Möglichkeiten, die Vorteile und der Aufbau von Batteriekraftwerken vorgestellt. Nach einer Führung durch die eindrucksvollen automatisierten Prüffelder fand die Pfingstexkursion 2015 mit einem von Younicos gesponserten Mittagessen ihren gelungenen Abschluss.

Wir bedanken uns bei allen Firmen und der Technischen Universität Braunschweig, die uns diese wunderbare Exkursion ermöglichten und uns so viele praktische Einblicke gegeben haben.

## Field trip of the elenia and the institute for EMC to Berlin from the 26<sup>th</sup> to the 28<sup>th</sup> of May

*Dipl.-Ing. Tobias Kopp, Hartmut Köppe M. Sc., Dipl.-Ing. Georg Zimmer, Dr.-Ing. Robert Geise*



Abbildung 46: Gruppenfoto der Exkursionsteilnehmer

Figure 46: Group photo of the excursion participants

The Technische Universität Braunschweig uses the week after Whitsun for study trips. All students get the chance to participate on the trips. As it has been done in the last years the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems and the Institute of Electromagnetic Compatibility organized a three day trip. The students had the possibility to visit companies in and around Berlin from the 26<sup>th</sup> to the 28<sup>th</sup> of May.

The group started with 37 participants from Brunswick in Tuesday morning. The first company to visit was Siemens AG in Berlin. The Students got the opportunity to visit the Schaltwerk (production of switching technology) or the Meßgerätewerk (production of measurement systems for switching technology). In the Schaltwerk the different types of air and gas insulated switching devices were shown. In the Meßgerätewerk the production of monitoring and controlling devices for switching devices was presented.

After that, we headed towards the inner city in Berlin to the transformer station Friedrichshain. There the 380 kV gas insulated transformer station was presented by Mr. Schrank and Mr. Kuhn.



On the second day the excursion was continued with a visit of the company Rolls-Royce in Dahlewitz. Flight turbines for e.g. the A320 are in production at these facilities.

On the last day we were invited by the company Younicos to Berlin-Adlershof. The staff members showed us in three great presentations the possibilities, advantages and the structure of battery power plants. After a guided tour through the impressive automated test facilities the field trip ended with a sponsored lunch from Younicos.

We thank all the companies and the Technische Universität Braunschweig for the great support for such a magnificent trip with deep insights.

## 8. Braunschweiger Supraleiterseminar

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

Das 8. Braunschweiger Supraleiterseminar fand vom 16.-17. Juni 2015 wieder am Nordbahnhof (jetzt Haus der Kulturen) statt. Insgesamt 13 Vorträge informierten über aktuelle Anwendungen der Supraleitertechnologie. Darunter waren nanoSQUIDs, High-Speed Flywheels, aber auch eine Studie zum Einsatz von Supraleiterkabel im ländlichen Stromnetz. Eine grundlegende Facette des Seminars bildeten die Besonderheiten und Anwendungen von Kryosystemen. Außergewöhnliche Einblicke lieferten optische Untersuchungen des Quench- und Recovery-Verhaltens von Supraleiterbändern, das Schalten im Vakuum und das Verhalten elektrischer Kontakte in kryogener Umgebung. Alle freigegebenen Vorträge des Supraleiterseminars können auf der Homepage des Institutes (<https://elenia.rz.tu-bs.de/index.php?id=46>) als Download in PDF-Form bezogen werden.



Abbildung 47: Teilnehmer des Supraleiterseminars

Figure 47: Participants of the Supraleiterseminar

## 8<sup>th</sup> Braunschweiger Supraleiterseminar

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

The 8th Braunschweiger Supraleiterseminar took place in the former northern railway station (now “Haus der Kulturen”) from the 16th-17th of July 2015. In total 13 presentations gave information about state of the art applications of superconducting technology. This included nanoSQUIDS, High-Speed Flywheels, but also a study for integration of superconducting cables in rural networks. A basic facet of the seminar was the specialties and applications of the cryogenic systems. Extraordinary insights into the quench- and recovery-behavior of superconducting tapes, switching in vacuum and behavior of electric contacts in cryogenic environment were given. All approved presentations of the seminar are downloadable as pdf-version from the homepage of this institute at <https://elenia.tu-bs.de/index.php?id=supraleiter>.

## TU-NIGHT 2015 – Feuer und Flamme für die Wissenschaft!

*Björn Osterkamp, M. Sc.*

Die im jährlichen Wechsel mit dem TU DAY stattfindende TU NIGHT ist eine fest etablierte Größe im Braunschweiger Veranstaltungskalender. Zur diesjährigen Wissenschaftsnacht hatte die Universität am 27. Juni von 19 – 1 Uhr eingeladen. Etwa 25.000 Besucherinnen und Besucher informierten sich über aktuelle Forschungsthemen, nahmen an Schnuppervorlesungen und Experimenten teil oder lauschten vielfältigen Bands auf den zwei Bühnen.



Abbildung 48: Angeregte Diskussion rund um das Thema Elektromobilität an der institutseigenen Ladesäule

Figure 48: Discussion on the topic of e-mobility

Das elenia beteiligte sich mit drei Ständen an der TU NIGHT. Der Stand an der Ladesäule in der Schleinitzstraße legte den Schwerpunkt auf die Elektromobilität. Hier wurde das Projekt „Emilia“, die kleine Schwester des bekannten Elektrobusses „Emil“ vorgestellt. In dem Projekt wird das berührungslose, induktive Ladekonzept auf das Automobil angewendet werden. Darüber hinaus konnten sich die Besucher über die Elektromobilität im Allgemeinen und das innovative Lademanagementsystem „Elias“ im Speziellen informieren.

Einen weiteren Schwerpunkt bildeten die Komponenten der elektrischen Energieversorgung. Hierzu wurde eigens für die TU NIGHT ein Versuch zum Schutz von elektrischen Bauteilen vor indirekten Blitzeinschlägen aufgebaut. Ein Metallring



Abbildung 49: Experiment zum Schutz vor indirekten Blitzen

Figure 49: Lightning-protection experiment

wird hierbei durch die enorme Energie in die Luft geschossen. Diese Energie führt in elektrischen Bauteilen in der Regel zu Schäden. Durch einen Überspannungsschutz wird die Energie abgeleitet und der Metallring bewegt sich nicht mehr.

Ein weiteres Highlight für die Besucher war die Möglichkeit mit dem Elektrobus „Emil“ zum Standort der BatteryLab Factory Braunschweig (BLB) am Langer Kamp zu fahren. Dort haben sich in sieben Führungen etwa 230 Besucher die Prozessschritte der in diesem Jahr unter Beteiligung des elenia neu eingeweihten Zellproduktion angeschaut. Das Institut bot den Besuchern die Möglichkeit Einblicke in die Prozesse der Formierung, der Alterung und der Zelldiagnostik von Lithium-Ionen-Zellen zu gewinnen und beantwortete zahlreiche Fragen zu den Produktionsanlagen und Batteriezellen im Allgemeinen.

## TU NIGHT 2015 – Fire and Flame for Science!

*Björn Osterkamp, M. Sc.*

At this year's Science Night, the university had invited on June 27 interested visitors to take a look on the newest topics in research and to take part in the numerous experiments located around the main campus. About 25000 visited this year's TU NIGHT.

The elenia participated at this year TU NIGHT with three booths. One booth was located near the institute own charging point at the Schleinitzstraße. The research project 'Emilia', a contactless, inductive charging concept for electric cars was presented. Moreover the visitors had several questions about the upcoming e-mobility and the innovative charging-management-system 'Elias' was presented.

The second booth had the focus on the components of the electrical power supply. Specifically for the TU NIGHT, an experiment for protection against indirect lightning strikes was build up. Thereby a metal ring is fired into the air by the energy of a lightning strike. In electrical components these energy causes major damage to the electrical devices. By the use of an



overvoltage protection device it is now possible to absorb the energy and to protect the device from the indirect lightning strike.

Another highlight was the guided tours through the new opened cell production at the Battery LabFactory. About 230 visitors used the opportunity and took the electric bus ‘Emil’ to the location on the Langer Kamp. The institute offered visitors insights in the process steps of the formation, the ageing procedure and the cell diagnostics and answered numerous questions about the equipment and battery cells in general.

### **Isolierstoffkolloquium 2015**

*Dipl.-Ing. Carola Schierding*

Das diesjährige Isolierstoffkolloquium, eine gemeinsame Veranstaltung die von Hochspannungstechnik-Instituten der TU Braunschweig, der RWTH Aachen, der TU Darmstadt und der Universität Karlsruhe ins Leben gerufen wurde, fand dieses Mal in Braunschweig statt. Das Kolloquium dient wie bereits in den vorhergegangenen Jahren als wissenschaftliche Kommunikationsplattform, um den Austausch und die Diskussionen von aktuellen Forschungsthemen unter den wissenschaftlichen Mitarbeitern/innen und den Professoren zu fördern. Dieser Aspekt steht hier besonders im Vordergrund und kann aufgrund der Anzahl an Teilnehmern sehr gut umgesetzt werden.

Der Veranstaltungsstandort des Isolierstoffkolloquiums wechselt jedes Jahr zwischen den vier Hochspannungsinstituten. Nachdem das letzte Kolloquium in Darmstadt stattgefunden hat, wurde das diesjährige Isolierstoffkolloquium 2015 durch das Hochspannungsinstitut elenia der TU Braunschweig ausgerichtet. Hierbei stellten die teilnehmenden Institute ihre aktuellen Forschungsthemen an zwei Tagen vor. Im Anschluss an jeden Fachvortrag gab es Zeit, um das Thema ausführlich zu diskutieren. Sollten hierbei noch Aspekte offengeblieben sein, konnten diese im gemütlichen Rahmen während der Abendveranstaltung „Rodizio im Gastwerk“ weiter betrachtet werden. Die Abendveranstaltung ermöglicht neben dem wissenschaftlichen Austausch auch die Pflege und den Aufbau von alten und neuen Kontakten zwischen den Teilnehmern. Am zweiten Tag gab es nach Abschluss der Vortragsrunde noch zur Veranschaulichung der Forschungsprojekte, eine Laborführung durch das elenia. Der gemeinsame Abschluss des Isolierstoffkolloquiums, wurde dann bei einem gemütlichen Grillnachmittag begangen. Hiermit hat das diesjährige Isolierstoffkolloquium als eine erfolgreiche Veranstaltung geendet und an die Tradition der Vorjahre angeknüpft.

## **Isolierstoffkolloquium 2015**

*Dipl.-Ing. Carola Schierding*

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

Presentation of several different projects from each participating HV institute, as well as discussions afterwards led to new research aspects and further interdisciplinary project ideas. Additionally an important aspect next to the scientific presentations and discussion was the social get together. Therefore, the participants had dinner at a Brazilian restaurant and a small tour through the night life of Braunschweig afterwards.

## **AG-Klausur mit integrierten Doktorandentagen in Northeim vom 22. bis 23. September**

*Hartmudt Köppe, M. Sc.*

Dieses Jahr wurde zum zweiten Mal die AG-Klausur mit den Doktorandentagen kombiniert. Im Fokus dieser stehen der fachliche Austausch zwischen den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und zwar unabhängig davon, ob das Promotionsvorhaben erst kürzlich begonnen wurde oder sich bereits im fortgeschrittenen Stadium befindet.

Insgesamt nahmen 20 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen an der zweitägigen Klausurtagung teil, die dieses Jahr in Northeim abgehalten wurde. Im ersten Teil der Tagung fand eine geführte Posterpräsentation statt. Im Gegensatz zum letzten Jahr wurden die Präsentationszeiten und die anschließenden Diskussionen bewusst kurz gehalten. So konnte sich jede Person einen umfassenden Blick über die Forschungsvorhaben verschaffen, wertvollen Input für das eigene Forschungsvorhaben einholen und in der anschließenden freien Gruppendiskussion je nach Interessenslage genauer informieren.

Anschließend erhielt die Klausurtagung ihren adrenalinreichen Anstrich – genau wie im letzten Jahr – durch eine begleitende Aktivität. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen stellten dabei ihre Teamfähigkeiten beim sogenannten Tubing auf die Probe und rasten in Zweier-Schlauchbooten die Stromschnellen der Rhume hinab. Der erfolgreiche Tag fand anschließend in gemütlicher Runde und bei vielen interessanten Gesprächen seinen Ausklang.

Am zweiten Tag erhielten die Promovierenden einen tiefgehenden Einblick in den langen Weg zum erfolgreichen Doktorat durch Marcus Bunk und Arne Dammasch.

### **Closed meeting with integrated doctoral days in Northeim from 22<sup>th</sup> to 23<sup>th</sup> September**

*Hartmudt Köppe, M. Sc.*

This year the closed meeting was combined with the doctoral days for the second time. The focus of the conference was the specialist exchange between the research assistants regardless of whether the PhD endeavour started recently or is already at an advanced stadium.

A total of 20 employees participated in the two-day conference, which was held in Northeim this year. In the first part of the conference a guided poster presentation took place. In opposition to last year, the presentation times and the following discussions were wilful kept short. In that manner, any person could gain an extensive overview of the other research projects and obtain valuable input for their own research projects. In the following group discussion everyone was free to get detailed information about the projects, which were the most interesting for them.

Like last year the conference was accompanied by an adrenalin rich activity. The team skills of the research assistants were put to the proof at so-called tubing. In pairs they raced down the raging rapids of Rhume in inflatables. After that the successful day found an end in a relaxed atmosphere and many interesting conversations.

On the second day the doctoral students were given a profound inside into the long way to the successful doctorate by Marcus Bunk and Arne Dammasch.

### **Feier anlässlich des 90. Gründungsjubiläums des Instituts für Hochspannungstechnik**

*Hartmudt Köppe, M.Sc.; Fridolin Muuß, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.*

Das Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - elenia feierte am 19.09.2015 sein 90-jähriges Jubiläum. Zu Ehren dieses Tages veranstaltete das elenia ein festliches Kolloquium im traditionsreichen Altgebäude der Technischen Universität Braunschweig. Die 130 geladenen Gäste hatten die Möglichkeit in einer gemütlichen Atmosphäre mit Kaffee und Kuchen in alten Erinnerungen an die gemeinsamen Institutsjahre zu schwelgen und zurückliegende Marksteine der Institutsgeschichte Revue passieren zu lassen (siehe nachfolgende Zeitleiste). Nach den einleitenden Worten von Prof. Kurrat folgten die Grußworte der Universität ausgerichtet von Prof. Reimers und die des VDEs überbracht von Dr. Thedens. In Vertretung von Prof. Kind stellten Dr. Lührmann die Meilensteine der Institutsforschung im Bereich der Prüfanlagen und elektrischen Festigkeit und Prof. Lindmayer im Themenfeld Schaltgeräte und Plasmen vor. Nach einer kurzen Pause zum fachlichen und persönlichen Austausch präsentierten die jetzigen Institutsleiter Prof. Kurrat und Prof. Engel die heutigen und zukünftigen Entwicklungen in den Gebieten Energieversorgung, Elektromobilität und Aktive Verteilnetze. Der erfolgreiche Abschluss des 90-jährigen Jubiläums bildete ein gemeinsamer Abend in ansprechender Atmosphäre im Restaurant XI. Gebot.

Wir danken allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern und den Sponsoren für die gelungene Veranstaltung.



Abbildung 50: Foto der Teilnehmer und Teilnehmerinnen im historischen Altgebäude  
Figure 50: Photo of the participants in the historical old building

### **Ceremony on the occasion of the 90th anniversary of the foundation of the Institute for High Voltage Technology**

*Hartmudt Köppe, M.Sc.; Fridolin Muuß, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.*

The Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems - elenia celebrated its 90<sup>th</sup> anniversary. In honor of this day the elenia hosted a festive colloquium in the traditional old building of the Technische Universität Braunschweig. The 130rd invited guests had the chance to indulge in good old times and to pass in review the milestones of the institute history (see the following time line). After the preliminary remarks by Prof. Kurrat the greetings of the university and the VDE followed, hosted by Prof. Reimers and Dr. Thedens. On behalf of Prof. Kind Dr. Lührmann presented the milestones of research of the institute in the fields of test systems and electrical strength and afterwards Prof. Lindmayer showed the milestones in the fields of switchgears and plasma. After a short break the actual institute directors Prof. Kurrat and Prof. Engel presented the nowadays and future developments in the fields of the energy supply, electromobility and smart grid. The successful day finished with a common evening in a pleasant atmosphere at the restaurant XI. Gebot.

We should like to express our thanks to all visitors and sponsors for this terrific event.

## 5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News

### 5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications

- 1) U. Westerhoff, M. Kurrat: Modellierungsunterschiede in der Forschung und Anwendung von Lithium-Ionen Batteriezellen, Batterieforum Deutschland 2015, 20.01.-23.01.2015, Berlin
- 2) M. Lindner, R. Witzmann, O. Marggraf, S. Laudahn, B. Engel, S. Patzack, H. Vennegeerts, M. Gödde, F. Potratz, A. Schnettler, Ergebnisse der FNN-Studie zu neuen Verfahren der statischen Spannungshaltung, Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, 27.01.-28.01.2015, Berlin
- 3) S. Laudahn, B. Engel, T. Bülo, V. Sakschewski, G. Bettenwort, H. Knopf, J. Jahn, Aktive Inselnetzerkennung und Netzstützungsfunktionen: Widerspruch oder ideale Ergänzung?, 2. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, 27.01.-28.01.2015, Berlin
- 4) M. Wiest, M. Finkel, B. Engel, G. Kerber, T. Kerber, Belastungsannahmen für Niederspannungsnetze auf Basis hochauflösender Messdaten IEWT 2015: 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 11.02.-13.02.2015, Wien
- 5) T. Kerber, G. Kerber, M. Werner, M. Finkel, M. Wiest, Optimierung der spannungsabhängigen Blindleistungsregelung  $Q(U)$  an dezentralen Erzeugungsanlagen zur Minimierung des Netzausbaus im 20 kV-Netz der LEW Verteilnetz GmbH, IEWT 2015: 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 11.02.-13.02.2015, Wien
- 6) M. Finkel, T. Schmidner, M. Wiest, Wertorientiertes Assetmanagement im Verteilnetz – ein Systemdynamisches Modell, IEWT 2015: 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 11.02.-13.02.2015, Wien
- 7) C. Klosinski, N. Hemdan, M. Kurrat: Smart Modular Switchgear für den Einsatz in DC-Systemen, 288. PTB-Seminar „HVDC - Erzeugung, Messung und Anwendungen“, 24.-25.02.2015, Braunschweig
- 8) O. Binder, M. Kurrat: Charakterisierung des Schaltverhaltens von IGBT-Modulen am Beispiel HGÜ-Stromrichter, 288. PTB-Seminar „HVDC - Erzeugung, Messung und Anwendungen“, 24.02.-25.02.2015, Braunschweig
- 9) M. Kurrat: Renaissance der Gleichstromtechnik, 288. PTB-Seminar „HVDC - Erzeugung, Messung und Anwendungen“, 24.02.-25.02.2015, Braunschweig
- 10) O. Roesky, J. Mummel, M. Bodmann, M. Kurrat, J. Köhler, Impact of losses on the charging strategy of electric vehicles, Hybrid and Electric Vehicles, 24.02.-25.02.2015, Braunschweig
- 11) B. Engel, Enhancing Grid Integration of PV in Germany and Europe, 5th INT'L SMART GRID EXPO Technical Conference, 27.02.2015, Tokyo
- 12) A. Schilling, U. Westerhoff, K. Kurbach, F. Dietrich, M. Kurrat, K. Dröder: Hochschuloffensive eMobilität Niedersachsen zur Qualifizierung von akademischen Berufsfeldern, 44. DGHD Jahrestagung 2015, 04.03.-06.03.2015, Paderborn
- 13) R. Hollinger; L. Diazgranados; T. Erge; G. Bopp, Distributed Solar Battery Systems Providing Primary Control Reserve, IRES2015, 9th International Renewable Energy Storage Conference, 09.03.-11.03.2015, Düsseldorf
- 14) B. Engel, Messtechnische Fragen beim Betrieb von Speichern und solargespeisten Wärmepumpen, 20. Fachgespräch der Clearingstelle EEG, 17.03.2015, Berlin

- 15) F. Funck, F. Soyck, B. Engel: Neue Möglichkeiten der Mehrfachnutzung von verteilten PV-Speichersystemen durch den Einsatz innovativer Messsysteme, ETG Fachtagung „Von Smart Grids zu Smart Markets 2015“, 25.03.-26.03.2015, Kassel
- 16) J. Mummel, M. Kammerlocher, F. Muuß, M. Kurrat, Elektromobilität im Kontext regionaler Erneuerbarer Energien, von Smart Grids zu Smart Markets ETG-Kongress, 25.03.-26.3.2015, Kassel
- 17) D.Unger, B. Engel: Technisch-ökonomische Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Cloud-Energiespeichern, ETG-Fachtagung Von Smart Grids zu Smart Markets 25.03.-26.03.2015, Kassel
- 18) S. Kippelt, H. Loges, et. Al, Dezentrale Energiespeicher: Studie zu Stromspeichern in der Nieder- und Mittelspannungsebene, ETG-Fachtagung „Von Smart Grid zu Smart Markets“, 25.03-26.03.2015, Kassel
- 19) U. Westerhoff: Forschung entlang des Batterielebenszyklus – Von der ersten bis zur letzten Ladung, Fachmagazin innoWATTion, 5. Ausgabe 01/15, S. 20, April 2015
- 20) U. Westerhoff: Die Batterie – Ein Schlüssel der Elektromobilität, 7.Schaufenster-Dialog „Mythos Elektromobilität“, 21.04.2015, Handwerkskammer Stade
- 21) M. Hilbert: Simulation von Gasentladungsprozessen mit Modellen für poröse Medien, Technische Akademie Esslingen „Teilentladungen in hoch beanspruchten elektrischen Isolierungen“, 21.04.-22.04.2015, Esslingen
- 22) M. Hilbert, M. Kurrat: Grundlagen der physikalischen Vorgänge II - Äußere Teilentladungen, Technische Akademie Esslingen „Teilentladungen in hoch beanspruchten elektrischen Isolierungen“, 21.04.-22.04.2015, Esslingen
- 23) U. Westerhoff, K. Kurbach, F. Lienesch, M. Kurrat: Best combination of battery models and measurement techniques to use in electric mobility and stationary storage, Kraftwerk Batterie, 28.04.-29.04.2015, Aachen
- 24) A. Bergman (et al.), Metrology for High Voltage Direct Current. JRP ENG07 HVDC. FINAL PUBLISHABLE REPORT. European Metrology Research Programme of EURAMET. [Online]. Available: <http://www.euramet.org>, April 2015
- 25) F. Fehsenfeld, A. Huck, M. Kurrat: Vorhersage des Tagesgangs von Heizlasten“, Tagungsband Erneuerbare Energie erfolgreich integrieren durch Power to Heat, Dialogplattform Power to Heat, 05.05.-06.05.2015, Goslar
- 26) O. Binder, M. Kurrat: Transiente IGBT-Verlustleistungsmessung, HIGHVOLT KOLLOQUIUM, 07.05.-08.05.2015, Dresden
- 27) R. Hollinger; L. Diazgranados; T. Erge, Trends in the German PCR Market: Perspectives for Battery System, EEM15, 12th International Conference on the European Energy Market, 19.05.-22.05. 2015, Lisbon
- 28) S. Diekmann, L. Soleymani, J. Mummel, B. Engel, M. Kurrat: Connecting electric mobility to the energy management of blocks of flats, EST 2015 – Energy Science Technology, 20.05.-22.05.2015, Karlsruhe
- 29) M. Kammerlocher, Vehicle to Grid storage potential based on fleet test data of user behavior, Book of Abstracts, EST, Energy Science Technology, 20.05.-22.05.2015, Karlsruhe
- 30) B. Engel, How to regulate self-consumption of electricity produced from PV panels so that it is beneficial to the energy system, European Commission Conference on Technology Challenges Renewables, 27.05.-28.05.2015, Brüssel

- 31) J. Mummel, M. Mennenga, K. Inderwisch, Elektrofahrzeuge in der Flottenanwendung - Ganzheitliche Bewertung der Umwelteffizienz unter Berücksichtigung von Fahrzeugeigenschaften, Einsatzszenarien und Infrastruktur, 7. E-MOTIVE Expertenforum 09.06.-10.06.2015, München/Maisbach
- 32) B. Engel, Die zukünftigen Anforderungen an Erzeugungsanlagen - erste Ergebnisse aus den Studien des FNN, VDI Konferenz flexible Verteilnetze, 10.06.2015, Düsseldorf
- 33) M. Kleimaier, H. Loges, B. Engel et. Al, Batteriespeicher in der Nieder- und Mittelspannung, VDE-Studie, 06/2015, Berlin
- 34) T. Kerber, G. Kerber, M. Werner, M. Finkel M. Wiest, Regulação de tensão via controle de reativos de inversores de geração distribuída, EM Eletricidade Moderna; Aranda Editoria Ano 43 No 495, lados: 166-173; Junho 2015; ISSN 0100-2104
- 35) N. Hemdan, B. Deppe, M. Pielke, M. Kurrat, T. Schmedes, E. Wieben, Switching State Optimization Influences on Active Distribution Systems Operation, PowerTech, 30.06.-02.07.2015, Eindhoven
- 36) F. Muuß, D. Unger, N. Hemdan, B. Engel, M. Kurrat, Virtual Reactive Power Plant Based on Renewable Energy Resources in Distribution Networks, PowerTech, 30.06.-02.07.2015, Eindhoven
- 37) N. Hill, M. Hilbert, F. Haake, M. Kurrat: Partial discharge free bushing for thermal cycling tests up to 150°C at 10 kV, 19th International Symposium on High Voltage Engineering, 23.08.-28.08.2015, Pilsen, Tschechien
- 38) T. Runge, T. Kopp, M. Kurrat: Investigation of plasma properties in a narrow gap for short time current, 07.09.-11.09.2015, XXI<sup>st</sup> Symposium on Physics of Switching Arc (FSO), Nove Mesto, Tschechien
- 39) J. Seidel, B. Osterkamp, B. Engel: Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagenkonzepten zur Regelleistungserbringung bei veränderten Marktbedingungen, NEIS Konferenz 2015, 10.09.-11.09.2015, Hamburg
- 40) J. Wussow, B. Engel: Induktive Ladung mit hoher Leistung in schwachen Netzausläufern, NEIS Konferenz 2015, 10.09.-11.09.2015, Hamburg
- 41) D. Premm, B. Osterkamp, J. Seidel, S. Poehling, A. Unru, B. Engel: The PV-Regel Project – Development of Concepts and Solutions for the Provision of Control Reserve with PV, EU PVSEC 2015, 14.09.-18.09.2015, Hamburg
- 42) F. Soyck, S. Diekmann, F. Lobas-Funck, S. Laudahn, B. Engel: Utilization Concept for Residential PV Storage Systems based on an innovative Measurement and Control System, EU PVSEC 2015, 14.09.-18.09.2015, Hamburg
- 43) B. Engel, Eigenversorgung aus technischer Sicht, 22. Fachgespräch der Clearingstelle EEG, 23.09.2015, Berlin
- 44) B. Engel, Standard oder Sonderausstattung: Wert von Blindleistung aus DEA, dena-Expertenworkshop „Aktives Blindleistungsmanagement im Verteilnetz: technische und prozessuale Anforderungen“, 24.09.2015, Berlin
- 45) R. Hollinger; F. Braam, Eine sinnvolle Kombination, pv magazine, September 2015
- 46) G. Rietveld (et al.), Metrology for Smart Electrical Grids. JRP ENG04 SMARTGRID. FINAL PUBLISHABLE REPORT. European Metrology Research Programme of EURAMET. [Online]. Available: <http://www.euramet.org>, September 2015

- 47) S. Diekmann, T. Voss, H. Schrom, B. Engel: Technische Infrastrukturen für die Stadt der Zukunft – Energieeinsparungen zum Nachrüsten für die Immobilienwirtschaft, Niedersächsische Energietage 2015, 30.09.- 01.10.2015, Goslar
- 48) U. Westerhoff: Batteriemesstechnik und –simulation im BaTLA, Fachmagazin innoWATTion, 6. Ausgabe 02/15, S. 15, Oktober 2015
- 49) H. Loges, A. Becker, PV Heimspeicher: Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern zur Erhöhung der Eigenverbrauchsquote, ETG-Fachtagung „Batteriespeicher und Power-to-Heat - Konkurrenz oder Koexistenz?“, 10/2015, Berlin
- 50) C. Klosinski, N. Hemdan, M. Hilbert, M. Kurrat: Smart Modular Switchgear für den Einsatz in Gleichstromsystemen, Albert-Keil-Kontaktseminar, 07.10.-09.10.2015, 23. AKK Karlsruhe
- 51) H. Köpf, E.-D. Wilkening, M. Kurrat: Schalten von Lastströmen bei unterschiedlichen Zeitkonstanten in Hochvolt-DC-Netzen, Albert-Keil-Kontaktseminar, 07.10.-09.10.2015, 23. AKK Karlsruhe
- 52) D. Bösche, E.-D. Wilkening, H. Köpf, M. Kurrat: Breaking Performance Investigation of Hybrid DC Circuit Breakers: An Experimental Approach The 61st IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, HOLM, 11.10.-14.10.2015, San Diego, California USA
- 53) S. Laudahn, B. Engel, T. Bülo, V. Sakschewski, G. Bettenwort, H. Knopf, Recommendation for the Behaviour of PV-Systems during Grid Disturbances depending on their PCC, 5th Solar Integration Workshop, 19.10-20.10.2015, Berlin
- 54) U. Westerhoff, K. Kurbach, D. Unger, H. Loges, D. Hauck, F. Lienesch, M. Kurrat, B. Engel: Evaluation of the entire battery life cycle with respect to lithium ion batteries, 17.11.-18.11.2015, ETG-Congress, Bonn
- 55) D. Premm, B. Osterkamp, J. Seidel, S. Poehling, B. Engel, R. Thiel, G. Engelhard: Providing Control Reserve with PV Systems – Goals and Results of the Research Project PV-Regel, International ETG-Congress 2015, 17.11.-18.11.2015, Bonn
- 56) J. Wussow, B. Engel: High-power inductive charging in weak grid branches, International ETG-Congress 2015, 17.11.-18.11.2015, Bonn
- 57) S. Diekmann, F. Lobas-Funck, B. Engel: Scalable Multi-level Energy Management for Residential Buildings, International ETG-Congress 2015, 17.11.-18.11.2015, Bonn
- 58) M. Kammerlocher, K. Baumbusch, R. Brodale, H. Haupt, M. Kurrat, Modelling of the vehicle to grid storage potential considering uncertainties in user behavior based on fleet test data, Konferenz: Die Energiewende – ETG Fachbericht Internationaler ETG-Congress 2015, Bonn
- 59) S. Laudahn, B. Engel, T. Bülo, V. Sakschewski, G. Bettenwort, H. Knopf, Parameterization of Inverter-Based Distributed Energy Resources regarding typical Grid Protection Schemes, International ETG-Congress 2015, 17.11.-18.11.2015, Bonn
- 60) A. Becker, H. Loges, B. Engel, et.Al., Electricity Storage Systems in Medium- and Low-Voltage Networks, International ETG-Congress 2015 ,17.11.-18.11.2015, ETG Congress, Bonn
- 61) F. Soyck, F. Schilling, M. Schmidt, B. Engel, Real time calculation of virtual meter points for simultaneous multiple use of PV storage systems, International ETG-Congress 2015, 17.11.-18.11.2015, Bonn
- 62) R. Hollinger; L. Diazgranados; J. Sönnichsen, Optimaler Einsatz eines Verbundes von Solar-Batterie-Systemen in der Primärregelleistung, VDI-Tagung Optimierung in der Energiewirtschaft, 25.11.-26.11.2015, Düsseldorf.



- 63) B. Munzel: DC Energieversorgungskonzepte für Gebäude, DC Microgrids – Technik für die Energiewende VDE Fachtagung, 09.12.-10.12.2015, Frankfurt am Main
- 64) H. Loges, O. Marggraf, S. Laudahn, B. Engel, Energieeffizienzlabel für PV-Batteriespeicher, EW, Magazin für die Energiewirtschaft, 12/2015, Essen
- 65) D. Hauck, M. Kurrat, Over discharge of lithium-ion batteries of electric vehicles for the recycling project LithoRecII, Kraftwerk Batterie, 2015, Aachen
- 66) O. Binder, J. Meisner, L. Schütze, M. Kurrat, HVDC Test Environment for Loss Measurements on Multi-level Converter Modules. In: IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 2015, S. 61-66., Aachen
- 67) M. Mennenga, P. Egede, M. Bodmann, J. Mummel, M. Sander, C. Herrmann, M. Kurrat, F. Küçükay Cyber-Physischer Ansatz zur Planung von Elektroflotten In: 7. Wissenschaftsforum Mobilität „National & International Trends in Mobility“, 2016, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Duisburg
- 68) T. Sobhy, N. Hemdan, M. Hamada, M. Wahab, German Grid Code Aspects Discussion: Low Voltage Ride Through of Converter Based Decentralized Generation International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids, Vol. 11, No. 2, pp. 129-141

## 5.2 Berichte in den Medien – News

*Gleicher Strom für alle*

06.02.2015, Technology Review

*Ein Labor für die Batterien der Zukunft*

25.06.2015, SolarServer Online

*Speicher senken Energiewendekosten*

24.03.2015, e21.info

*Das schönste Fest der Wissenschaft*

29.06.2015, Braunschweiger Zeitung

*Batteriespeicher sind netzdienlich und können sich lohnen*

24.03.2015, pv magazine Online

*Ministerium zahlt TU-Projekt eine Million Euro*

06.08.2015, Braunschweiger Zeitung

*Systemdienstleistungen aus der Kaskade*

04.05.2015, erneuerbareenergien.de

*Volle Leistung für die Energieforschung in Deutschland*

05.08.2015, Braunschweiger Anzeiger Online

*Forscher wollen die E-Mobilität revolutionieren; Die Batterien der Zukunft können sogar atmen*

25.06.2015, Braunschweiger Zeitung

*TU Braunschweig erhält knapp eine Million Euro für die Energieforschung*

10.08.2015, SolarServer Online

*Battery LabFactory Braunschweig eröffnet*

25.06.2015, elektroniknet Online

*Volle Leistung für die Energieforschung in Deutschland*

12.08.2015, Neue Braunschweiger

*Battery LabFactory Braunschweig (BLB): Neues Forschungszentrum eröffnet*

25.06.2015, eMobilität online

*Emil soll zwei weitere Brüder bekommen*

23.11.2015, Braunschweiger Zeitung



Kontakt:

Technische Universität Braunschweig

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia

Schleinitzstr. 23

38106 Braunschweig

Telefon: +49 531 391-7737

Telefax: +49 531 391-8106

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

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