



**Technische  
Universität  
Braunschweig**



# Jahresbericht 2016

Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen  
- elenia

# **Jahresbericht 2016**



## Inhaltsverzeichnis – Table of contents

<b>Vorwort – Preface.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Personelle Besetzung des Instituts – Staff.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Lehre – Lectures .....</b>	<b>15</b>
2.1 Vorlesungen und Praktika – Lectures and Laboratories .....	15
2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects .....	21
2.3 Diplomarbeiten – Diploma Theses .....	22
2.4 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses .....	22
2.5 Masterarbeiten – Master Theses .....	24
<b>3 Berichte aus Forschung und Entwicklung – Abstracts on Research Projects ..</b>	<b>26</b>
3.1 Komponenten der Energieversorgung – Power System Components .....	28
3.2 Elektromobilität – Electric Mobility .....	39
3.3 Aktives Verteilnetz – Smart Grid .....	46
3.4 Dissertationen – Dissertations.....	58
<b>4 Besondere Ereignisse 2016 – Special Events 2016 .....</b>	<b>65</b>
4.1 Kalender der besonderen Ereignisse – Calendar of Special Events .....	65
4.2 Berichte von besonderen Ereignissen – Reports on Special Events .....	79
<b>5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News .....</b>	<b>91</b>
5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications .....	91
5.2 Berichte in den Medien – News .....	94

Liebe Freunde des Instituts,

über 20.000 Studierende sind zum Wintersemester 2016/17 an der TU Braunschweig eingeschrieben. Das ist für die TU ein Allzeithoch und noch besser ist, dass davon 10% Elektrotechnik studieren. Die Begrüßung der Erstsemester fand traditionsgemäß im Fußballstadion der Eintracht statt. Besonders erfreulich ist, dass die Eintracht sich zurzeit wieder auf einen Aufstiegsplatz in die erste Bundesliga hochgearbeitet hat. Ein bisschen Lokalpatriotismus muss halt sein. Für die Kulturinteressierten dürfen wir vermelden, dass nach der mehrjährigen Renovierung seit Oktober die weltberühmte Gemäldesammlung des Herzog-Anton-Ulrich-Museums wieder der Öffentlichkeit zugänglich ist.

Auf globaler Ebene hat, nach 2015 mit der erfolgreichen UN-Klimaschutzkonferenz, 2016 Paris wieder Geschichte geschrieben: Auf der Messe „Mondial de l'Automobile“ wurden im Oktober zum ersten Mal von allen namhaften Herstellern zeitnah verfügbare, preiswerte Elektroautos mit Reichweiten über 400 km ausgestellt. Damit scheint eine erfolgreiche, sich immer mehr beschleunigende Mobilitätswende möglich, die der Automobilbranche, den Netzbetreibern und auch unserem elenia noch jede Menge Herausforderungen und Arbeit bereiten wird.

Mit der Unterzeichnung des neuen EFZN Rahmenvertrags in 2015 hat das elenia zu Beginn des Jahres die Koordination des Energieforschungsknotens der TU Braunschweig (EFK BS) übernommen. Der EFK bildet das strategische Netzwerk für intelligente, dezentrale Energiesysteme und Speicher an der TU Braunschweig.

Das elenia richtete im September sein drittes Energietechnisches Symposium aus. Gemeinsam mit Weggefährten und Ehemaligen haben wir unseres geschätzten Institutsdirektors Prof. Hermann Kärner gedacht, der am 19. Februar 2016 im 84. Lebensjahr verstarb. Er leitete das Institut von 1977 bis 1998. Wir werden ihm stets ein ehrendes Andenken bewahren. Während der Abendveranstaltung in der ehemaligen Roggenmühle in Lehndorf feierte Prof. Lindmayer seinen 75. Geburtstag gemeinsam mit seinen Ehemaligen und den aktuellen Institutsmitarbeitern.

Tief bewegt haben uns auch zwei weitere Todesfälle. Im August entschlief unser vielgeschätzter Konstrukteur Herr Wolfgang Gottschalk und im November verstarb überraschend unser hochverehrter Werkstattmeister Jürgen Rietz. Beide waren über 40 Jahre am Institut und haben mit ihrem Wissen und ihren Ideen die Umsetzung vieler Forschungsprojekte erst ermöglicht. Wir alle werden sie in guter Erinnerung behalten.

Unsere Geschäftsstelle ist z.Zt. nur mit Frau Schmidt und Frau Thiele besetzt. Nach ihren ersten 2 Jahren im Berufsleben am elenia hatte Frau Klages den Wunsch sich beruflich zu verändern. Wir danken ihr für die geleistete Arbeit und wünschen viel Erfolg bei den neuen Herausforderungen.

Unsere drei Schwerpunkte – Komponenten der Energieversorgung, Aktives Verteilnetz und Elektromobilität – waren im Berichtsjahr wieder sehr erfolgreich. In UPS dürfen wir ein Hochleistungs-Gleichstromlabor aufbauen, das uns strategische Forschung im wichtiger werdenden Gleichstrombereich ermöglicht. Die Batterieforschung hat mit OptiZellForm ein großes Verbundprojekt erhalten, das uns die Generierung neuen Wissens in der Batterieformierung und -diagnostik erlaubt.

Im September wurde die neue, im Forschungsprojekt PV-Regel geförderte, Photovoltaik-Anlage mit einer installierten Spitzenleistung von 14,3 kWp auf dem „alten Heizhaus“ am Okerufer, in dem sich auch Labore des elenia befinden, durch den Präsidenten der TU Braunschweig Prof. Hesselbach feierlich eingeweiht (siehe Titelbild). Vor 1964 versorgte das dortige Heizkraftwerk den Zentralcampus mit Drehstrom, Gleichstrom(!) und Wärme. Heute trägt der übrig gebliebene, geschmackvoll renovierte Gebäudeteil wieder zur dezentralen Versorgung der Universität bei. Per DC-Übertragungsstrecke wird die eingespeiste PV-Leistung vorrangig für Forschung und Lehre zu Netzdynamik und Energiemanagement in den elenia energy labs verwendet.

Außerdem war das Institut bei der Einwerbung interessanter Studien erfolgreich: So stellen wir für den Umbau der Netze einen „Baukasten“ für Netzbetreiber zusammen, gemeinsam mit der RWTH Aachen untersucht das elenia den sicheren Netzbetrieb mit Informations- und Kommunikationstechnik für das Forum Netztechnik Netzbetrieb (FNN) im VDE, außerdem arbeitet das elenia in Studien für das BMWi und für das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz zu aktuellen Fragestellungen der Energiewende mit.

Für diese Erfolge bedanken wir uns herzlich bei unseren Schwerpunkt- und Arbeitsgruppenleitern, die sich neben ihren Forschungsarbeiten noch Zeit für diese verantwortungsvolle Aufgabe nehmen. Ein besonderer Dank geht an Herrn Dr.-Ing. Frank Lienesch von der PTB, der die Forschung in unserem Schwerpunkt Elektromobilität als Mentor stark unterstützt. Zu danken haben wir aber auch allen, die sich um die Fertigstellung des Festbandes zum 90. Instituts-Jubiläums, das wir am 19. September 2015 feiern konnten, verdient gemacht haben.

Mit dem Wunsch für ein gutes und erfolgreiches Jahr 2017 bedanken wir uns herzlich bei Ihnen, unseren Partnern aus den Unternehmen und Forschungseinrichtungen, den Lehrbeauftragten, der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), den Projektträgern, den Bundesministerien, der Volkswagenstiftung, den Niedersächsischen Ministerien für Wissenschaft und Kultur sowie für Umwelt, Energie und Klimaschutz, und dem FNN für die Unterstützung unserer Arbeiten.

Braunschweig, im Dezember 2016



Michael Kurrat



Bernd Engel

Dear Friends of the elenia,

More than 20.000 students are enrolled at the TU Braunschweig for the winter term 2016/17. This is an all-time high and even more delightful is the fact that 10% of these students decided to study electrical engineering. Traditionally, the welcome ceremony is held at the Eintracht stadium, which was especially pleasant this year, since the club scored a promotion spot for the first national league. One has to be proud of that achievement. Anybody who is interested in culture might enjoy the reopening of the world famous art collection at the Herzog-Anton-Ulrich-Museum after years of redecorating.

On a more global note, Paris wrote history once again, after their successful United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties (COP 21) in 2015. At this year's trade fair „Mondial de l'Automobile“ in October, renowned companies presented good value electrically powered cars, which will be available in the near future and are able to reach distances over 400 km. As a result, a prosperous and fast approaching transition of the energy and mobility system is tangible, offering challenges and work for the future to the automobile industry, network operators and the elenia.

After signing the EFZN framework contract in 2015, the elenia took up the coordination of the energy science node at the TU Braunschweig (EFK BS). The EFK forms the strategic network for intelligent, decentralized energy systems and energy storage mechanism at the TU Braunschweig.

The third Energietechnische Symposium hosted by the elenia took place in September. In collaboration with companions and alumni we commemorated Prof. Hermann Kärner, who died February 19<sup>th</sup>, 2016, at the age of 84. He was Head of the Institute from 1977 to 1998. We will always remember him with great respect. Prof. Lindmayer celebrated his 75<sup>th</sup> birthday, at the evening event in the former rye mill in Lehdorf, with former and current colleagues.

Further, two more deaths moved us deeply. In August, our esteemed constructor Wolfgang Gottschalk passed away. In November, our esteemed workshop foreman Jürgen Rietz deceased unexpectedly. Both worked at the institute for over 40 years, enabling many research projects with their knowledge and ideas. We shall remember them in best memory.

Currently, the office is staffed by Mrs. Schmidt and Mrs. Thiele. After two years, Mrs. Klages changed her professional life. We want to thank her for her work and wish her the best success for new challenges.

Again, the three focus groups, components of energy supply, active distribution grid, and electro mobility, were thriving this year. For the project UPS (Universal Power Switch), we set up a powerful dc laboratory, in order to enable the strategic research in this growing sector of direct current. The research focus battery technologies received the major group project OptiZellForm, which allows the accumulation of new knowledge in the field of battery formation and battery diagnostics.

In September, the president of the university, Prof. Hesselbach, inaugurated the new photovoltaic system placed on the “old boiler house”, which hosts elenia’s laboratories (see title picture). The system was sponsored by the research project PV-Regel, and reaches a peak power of 14.3 kWp.

Prior to 1964, the cogeneration plant provided the Main Campus with alternating voltage, direct current, and heat. Nowadays, the newly refurbished building section contributes to the university’s decentralized energy supply. The elenia energy labs uses the photovoltaic system output, which is fed in via a dc transmission link, primarily for research and teaching on network dynamics and energy management.

Furthermore, the institute was able to acquire several interesting projects. We provided a kit for network operators to rebuild the network, and in collaboration with the RWTH Aachen, the elenia researches options for safe grid operations concerning information- and communication technology for the FNN at the VDE. Additionally, the elenia undertakes studies for the BMWi, and the Ministry for Environment, Energy and Climate Change from Lower Saxony, with regard to current questions about the transition of the energy and mobility system.

We want to thank the leaders of our research focus groups and working groups, who take the time for this responsible task, in addition to their research projects. Special thanks are extended to Dr.-Ing. Frank Lienesch of the PTB, who acts as a mentor, and supports the research under the focus of electro mobility. Furthermore, we want to thank everyone who was included in the process of completion of our 90-year anniversary hardback edition, which we celebrated on September 19<sup>th</sup>, 2015.

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, the Ministry for Science and Culture as well as the Ministry for Environment, Energy and Climate Change from Lower Saxony, and the FNN, for your great support on our work.

Best wishes for a happy and successful year 2017!

Braunschweig, December 2016



Michael Kurrat



Bernd Engel

## 1 Personelle Besetzung des Instituts – Staff

Vorstand: (Managing Board)	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (Geschäftsführender Institutsleiter) Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Professoren im Ruhestand: (Retired Professors)	Prof. a. D. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer, Braunschweig Prof. a. D. Dr.-Ing. Jürgen Salge, Salzgitter-Osterlinde
Honorarprofessoren: (Honorary Professors)	Prof. Dr.-Ing. Bernhard von Gersdorff, Berlin Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind, Braunschweig
Lehrbeauftragte: (Lecturers)	Dr.-Ing. Gunnar Bärwaldt, Braunschweig Dr.-Ing. Michael Hilbert, Braunschweig Dr.-Ing. Johannes Schmiesing, Hannover Dr.-Ing. Christian Schulz, Bayreuth Dr.-Ing. Harald Waitschat, Braunschweig
Akademischer Oberrat: (Academic Senior Councilor)	Dr.-Ing. Ernst-Dieter Wilkening
Geschäftsstelle: (Head Office)	Jacqueline Schmidt Petra Thiele
Schwerpunkte (SP): (Research Focus Groups)	<i>Komponenten der Energieversorgung</i> Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp (SP-Leiter) Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (SP-Mentor)  <i>Aktives Verteilnetz</i> Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck (SP-Leiterin) Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (SP-Mentor)  <i>Elektromobilität</i> Jan Mummel, M.Sc. (SP-Leiter) Uwe Westerhoff, M.Sc. (SP-Leiter) Dr.-Ing. Frank Lienesch (SP-Mentor, PTB)

Arbeitsgruppen:  
(Working Groups)

**AG Energiesysteme – Wissenschaftlicher Leiter Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel**  
(WG Energy Systems – Scientific Director Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel)

Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Franziska Lobas-Funck (AG-Leitung)
M.Sc.	Julia Seidel (AG-Leitung)
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	Daniel Unger (AG-Leitung)
M.Sc.	Stephan Diekmann
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.	Florian Rauscher
M.Sc.	Christian Reinhold
M.Sc.	Jonathan Ries
Dipl.-Ing.	Sönke Rogalla (ext. Doktorand, Fraunhofer ISE)
M.Sc.	Florian Schilling (ext. Doktorand, PTB)
M.Eng.	Matthias Schmidt (ext. Doktorand, PTB)
Dipl.-Ing. (FH)	Frank Soyck, M.Eng.
M.Sc.	Michael Wiest (ext. Doktorand, Hochschule Augsburg)
B.Sc.	Sebastian Wermuth
Dipl.-Ing.	Jonas Wussow

**AG Energietechnologien – Wissenschaftlicher Leiter Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat**  
(WG Energy Technologies – Scientific Director Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat)

Dr.-Ing.	Michael Hilbert (AG-Leitung)
Dipl.-Ing.	Jan Bellin (ext. Doktorand, VW)
M.Sc.	Dirk Bösche
Dipl.-Math.tech.	Frithjof Fehsenfeld (ext. Doktorand, FH Hannover)
M.Sc.	Felix Geilert
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
M.Sc.	Fridolin Muuß
M.Sc.	Tobias Pieniak
M.Sc.	Gennadiy Günther Portnikov (ext. Doktorand, Fraunhofer IST)
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 (Werkstattleitung)  
(Mechanical Workshop) Stefanie Adamski (Auszubildende, Werkstatt)  
Frank Haake  
Reinhard Meyer  
Julia Musebrink  
Vincent Winkler (Auszubildender, Werkstatt)

Elektrische Werkstatt: Christian Ryll (Werkstattleitung)  
(Electrotechnical Workshop) Dominik Manz

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2016 ausgeschieden:  
(The following employees left the institute since January 2016)

Am 01.03.2016	Bernhard Wedler
Am 01.05.2016	Ole Binder
Am 01.05.2016	Marcus Bunk
Am 01.07.2016	Arne Dammasch
Am 03.07.2016	Michelle Klages

Folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind seit dem 01.01.2016 neu hinzugekommen:  
(The following employees joined the institute since January 2016)

Am 15.03.2016	Dominik Manz
Am 01.04.2016	Jonathan Ries
Am 01.11.2016	Felix Geilert
Am 01.11.2016	Florian Rauscher

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2016 tätig:

(Research assistants for the year 2016)

Ahrens, Thomas	Helm, Stefan	Schilling, Dennis
Ballard, Alexey	Hennekes, Pascal	Schlenker, Uwe
Bopp, Tobias	Herman, Robin Frederik	Schrader, Robin
Braun, Gerrit	Herr, Henrik	Schrödter, Thomas
Brodale, Ricardo	Hickisch, Timo	Schulte, Thomas
Busch, Jörn	Hugo, Marvin	Schwerdtfeger, Jan Martin
Claaßen, Lars	Jin, Hui	Semiz, Erol
Debbing, Christina	Kahmann, Tamara	Shiyanov, Denis
Di Modica, Gian-Luca	Klefer, Carina	Sinnigen, Markus
Djieye K., Alban Thibaut	Kluge, Christin	Spohr, Alexander
Fetze, Alina	Kurt, Osman Can	Steinmann, Christoph
Fiebig, Gina	Loof, Sebastian	Stocklossa, Timo
Finke, Sieko	Matern, Marius	Thienemann, Christian
Freitag, Patrick	Meier, Robin Thorben	Untiedt, Markus
Friese, Jana	Meyer, Sören	Weber, Benjamin
Geilert, Felix	Neumann, Shivananda	Wellert, Tobias
Gies, Stefan	Peters, Enno	Wierzbowski, Adrian
Gitin, Ilja	Preißler, Anne	
Götzinger, Moritz	Raeisi, Afshin Hassan	
Gräfer, Nils	Rauscher, Florian	
Günzel, Vincent	Rewald, Florian	
Haage, Timo	Ries, Jonathan	
Hanisch, Stefan	Ross, Patrick	

## 2 Lehre – Lectures

### 2.1 Vorlesungen und Praktika – Lectures and Laboratories

<b>Vorlesungstitel</b>	<b>Vortragender</b>	<b>Zeitraum</b>
Doktorandenseminar	Prof. Kurrat	SoSe 16 WiSe 16/17
Elektrotechnik 1 für Maschinenbau	Prof. Engel	WiSe 16/17
Elektrotechnik 2 für Maschinenbau	Prof. Engel	SoSe 16
Elektrische Bahnen	Prof. Engel	SoSe 16
Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen	Prof. Engel	SoSe 16
Elektrische Energieanlagen I	Dr. Wilkening	WiSe 16/17
Elektrische Energieanlagen II	Dr. Wilkening	SoSe 16
Energiewirtschaft und Marktintegration erneuerbarer Energien	Prof. Engel	WiSe 16/17
Gleichstrom- und Speichersysteme	Prof. Kurrat	SoSe 16
Grundlagen der elektrischen Energietechnik	Prof. Kurrat	SoSe 16
Hochspannungstechnik I	Dr. Hilbert	WiSe 16/17
Hochspannungstechnik II	Prof. Kurrat	SoSe 16
Innovative Energiesysteme	Prof. Engel	SoSe 16
Managementmethoden für Ingenieure	Dr. Bärwaldt	WiSe 16/17
Numerische Berechnungsverfahren	Prof. Kurrat	WiSe 16/17
Systemtechnik in der Photovoltaik	Prof. Engel	WiSe 16/17
Technologien der Verteilungsnetze	Dr. Schmiesing	SoSe 16
Technologien der Übertragungsnetze	Dr. Schulz	WiSe 16/17
<b>Praktika</b>		
Innovative Energiesysteme - Praktikum	Prof. Engel	SoSe 16
Numerische Berechnungsverfahren – Rechnerpraktikum	Prof. Kurrat	SoSe 16
Hochspannungstechnik – Praktikum	Prof. Kurrat	WiSe 16/17
Analyse und Planung von Netzen	Prof. Engel	WiSe 16/17
Labor Master Elektromobilität	Prof. Kurrat	WiSe 16/17

### **Doktorandenseminar**

(SoSe 16) 1 V und (WiSe 16/17) 1V

Die Inhalte des Doktorandenseminars befassen sich mit Aspekten des wissenschaftlichen Arbeitens.

Schwerpunkt im SoSe 16: Exposé – Struktur und Inhalt

Schwerpunkt im WiSe 16/17: Versuchsplanung und -auswertung

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

(WiSe 16/17) 2 V, 1 Ü

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

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

(SoSe 16) 2 V, 1 Ü

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

### **Elektrische Bahnen**

(SoSe 16) 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 16) 1 V

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

### **Elektrische Energieanlagen I**

(WiSe 16/17) 2 V, 2 Ü

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

### **Elektrische Energieanlagen II (und Lichtbogenplasmen)**

(SoSe16) 2 V, 2 Ü

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

---

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

**Energiewirtschaft und Marktintegration erneuerbarer Energien** (WiSe 16) 2 V, 2 Ü  
 Energiewirtschaft • Energiepolitik • Gesetze und Fördersysteme • Märkte (Strommarkt 2.0, Regelleistungsmarkt) • Direktvermarktung /Bilanzkreismanagement • Virtuelles Kraftwerk – Großspeicher

**Gleichstrom- und Speichersysteme** (SoSe 16) 2 V, 2 Ü  
 Im Rahmen der Vorlesung werden Grundkenntnisse über den Aufbau und die Funktion von Gleichstrom- und Speichersystemen übermittelt.  
 Überblick über verschiedene Speichertechnologien • Grundlagen der Gleichstromnetze • Ladeinfrastruktur • Kfz-Bordnetze • Alterung und Diagnostik von Batteriespeicher

**Grundlagen der elektrischen Energietechnik<sup>2</sup> (Bachelor)** (SoSe 16) 3 V, 1 Ü  
 (gemeinsam mit Prof. Henke und Prof. Mallwitz)  
 Der von Prof. Kurrat und Prof. Engel vertretene Anteil beinhaltet: Grundzüge der elektrischen Energiewirtschaft • Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung und elektrische Energieerzeugung

**Hochspannungstechnik I (u. Gasentladungsplasmen)** (WiSe 16/17) 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 16) 3V, 1 Ü  
 In der Vorlesung werden die Grundlagen zur Durchführung und Bewertung von Hochspannungs- und Hochstromprüfungen behandelt.  
 Anwendung der beschreibenden Statistik auf Versuchsergebnisse • Durchführung von Netzwerkberechnungen mit LT-Spice • Einführung in die Sicherheitsbestimmungen beim Betrieb von Anlagen • 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

---

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

### **Innovative Energiesysteme**

(SoSe 16) 2 V, 2 Ü

Die Studierenden haben nach Abschluss des Moduls Kenntnisse über die konventionelle und nachhaltige Erzeugung von elektrischer Energie erlangt, sowie neuste Entwicklungen kennengelernt. Darüber hinaus wird Wissen über die Verknüpfung der verschiedenen Erzeugungsanlagen vermittelt. Die Studierenden werden dadurch in die Lage versetzt, die unterschiedlichen Erzeugungsanlagen hinsichtlich ihres Primärenergieverbrauchs und ihrer Auswirkungen auf die Umwelt zu bewerten und Vor- und Nachteile zu benennen.

Netzentwicklung • Konventionelle Kraftwerke • Erneuerbare Energien • Virtuelle Kraftwerke • Systemdienstleistungen

### **Managementmethoden für Ingenieure**

(WiSe 16/17) 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 16/17) 2 V, 2 Ü

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

### **Systemtechnik in der Photovoltaik**

(WiSe 16/17) 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. Besonders eingegangen wird auf die Wechselrichtertechnik und PV-Speichersysteme.

### **Technologien der Verteilungsnetze (Bachelor)**

(SoSe 16) 3 V, 1 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 16/17) 3 V, 1 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen:

Hochspannungstechnik • Smart Grid • Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung • Drehstromsysteme • Elektrische Energieerzeugung

## Studienseminare – Student Lectures

*Christian Reinhold, M.Sc.*

### WiSe 2015/2016 „elenia – Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik – Trends“

Im Wintersemester 2015/2016 fanden insgesamt 19 Vorträge zum Thema „Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik - Trends“ im Haus der Wissenschaft, Raum Veolia statt. Die Veranstaltung fand an den Tagen 20.01.2016 und 03.02.2016 statt.

#### Tag 1

Eike Alexander Gellermann Was kann eine virtuelle Synchronmaschine (VISMA)?

David Rakidzija	Arten und Anwendung von Sternpunktterdung
Daniel Kaufmann	Elsbergs "Blackout": Nur Hollywood oder mögliche Realität?
Götz-Nikolaus Grobelny	Energiemanagement in Haushalten und Industrie
Robert Hankers	Erlösmöglichkeiten für die Vermarktung von PV- und Windstrom
Georg Schmoll	Siliziumkarbid: Leistungshalbleiter in Theorie und Praxis
Sven Cholewa	MOSFET oder IGBT: Welches ist der bessere Halbleiterschalter?
Niklas Rühmann	Aufbau und praktische Umsetzung von Stoßstromgeneratoren (8/20, 10/350)
Felix Fitzl	Umsetzung von Blitzschutzkonzepten in Eigenheimen

#### Tag 2

Julia Gartner	Auftriebskraftwerke zur möglichen Stromversorgung von Einfamilienhäusern
Fernando Yanez Trevino	Protection of HVDC Grids, Challenges and Possible Solutions
Zhe Wang	Schalter in höheren Netzspannungsebenen
Yannick Schubert	Isolierstoffprüfung in der Energietechnik
Marvin Lee Schroeder	Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen
Jörn Busch	Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland
Sven Ziegler	Lithium-Ionen-Batteriesysteme – Herstellung in Europa
Sascha Wolff	Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland
Uili Wobeto Reinheimer	Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen
Ou Xu	Prüffelder in der Hochspannungstechnik



Abbildung 1: Teilnehmer des Studienseminars im Wintersemester 2015/2016

Figure 1: Participants of the student lectures in winter 2015/2016

*Christian Reinhold, M.Sc.*

*SoSe 2016 „elenia – Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik – Trends“*

Im Sommersemester 2016 fanden insgesamt 14 Vorträge zum Thema „Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung – Technik - Trends“ im Seminarraum des elenia statt. Die Veranstaltung fand an den Tagen 30.06.2016 und 13.07.2016 statt.

*Tag 1*

Baiyun Li	Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz
Simon Wagner	Stand und zukünftige Entwicklung der installierten elektrischen Speicherkapazität in Deutschland
Tom Reinhardt	Was bringt der Stromspeicher von Tesla?
Jana Messmer	Lastprognoseverfahren im Bereich von Wohnquartieren
Stefan Lehmker	Netzleittechnik für Offshore-Windparks
Ilja Gitin	Einsatz von Batterien im Explosionsschutz
Lars Claaßen	Sicherheitsmechanismen in einem Lithium-Ionen Batteriesystem

*Tag 2*

Haozhe Kuang	HGÜ-Kabel –Einschränkungen der Technologie
Dirk Moos	Neue Fertigungsmöglichkeiten durch 3D-Drucker für Prototyping
Hendrik Gundelach	Blitzschäden in Deutschland

Samar Ouadhani	Superconductivity Applications in Power Systems: Recent Advances
Miao Huang	Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen
Xufeng Li	Isoliersysteme für HGÜ Anwendungen – Herausforderungen und Konzepte
Dennis Schilling	Arbeitsbereich und Schalteigenschaften moderner Leistungshalbleiter



Abbildung 2: Teilnehmer des Studienseminars im Sommersemester 2016

Figure 2: Participants of the student lectures in summer 2016

## 2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects

(Bearbeitungszeit 10 Wochen)

Kira Frohwitter	Analyse der technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Hintergründe bezüglich der Integration von Biomethan-BHKWs auf dem Campusgelände ( <i>Koch</i> )
Thanh Nguyen	Optimierung der Angebotserstellung für Regelleistung aus Photovoltaikanlagen ( <i>Seidel</i> )
André Plätzer	Regelleistung im internationalen Kontext ( <i>Seidel</i> )
Kesong Zeng	Power-to-Heat - Großtechnische Anwendung als Flexibilitätsoption im Stromnetz ( <i>Osterkamp</i> )
Michael Poplawski	Potentiale und Anwendung von regionalen Ausgleichsmechanismen im Kontext dezentraler Erzeugung ( <i>Osterkamp</i> )

### 2.3 Diplomarbeiten – Diploma Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

David Treumann                      Entwicklung von Handelsstrategien für Wirkleistung unter Berücksichtigung zum Lieferzeitpunkt hin zunehmender Prognosegenauigkeit (für handelbare Leistung aus diskontinuierlichen Quellen) (*Unger/Osterkamp*)

### 2.4 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate)

Anastasiya Akal                      Gegenüberstellung und Bewertung verschiedener Modelle für Leistungsprognosen von Photovoltaikanlagen (*Seidel*)

Tönjes Alberts                      Messtechnische Untersuchung des Regelverhaltens eines Einzelstrangreglers im Netzintegrationslabor (*Marggraf*)

Cornelius Biedermann              Konzeption eines Prüfstandes für eine Wärmepumpe vor dem Hintergrund eines ganzheitlich betrachteten Smart Home-Labors (*Koch*)

Tobias Bopp                          Analyse von Umsetzungsmöglichkeiten des Mieterstrommodells, am Beispiel eines konkreten Objektes aus Sicht eines Energieversorgers (*Lobas-Funck/Diekmann*)

Malo Bosse                              Konzeptionierung eines Fahrzyklusgenerators für Elektrofahrzeuge (*Mummel*)

Gerrit Bremer                          Untersuchung der Wirksamkeit und Stabilität einer Blindleistungsregelung mit einphasigen Photovoltaik-Wechselrichtern in Simulation und Labor (*Marggraf*)

Lars Claaßen                          Realisierung einer Kommunikationsschnittstelle für Schaltergruppen innerhalb einer softwarebasierten Fehlerdetektionsroutine in DC-Niederspannungsnetzen (*Klosinski*)

Arne Dreyer                              Netzwiederaufbau im regenerativ geprägten Energieversorgungssystem (*Seidel*)

Philip Eisele                              Material- und Systemuntersuchungen zu additiv gefertigten Isolationsstoffen und Röntgenhochspannungsgeneratoren (*Hilbert*)

Marie Claire Eyerle                      Geographische, politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Photovoltaik in Argentinien (*Osterkamp*)

Adrian Göbel                              Ermittlung der Netzverluste eines Industrienetzes im Stromversorgungsnetz der VW Kraftwerke GmbH (*Laudahn*)

Moritz Götzinger                      Entwicklung eines Kostenmodells für Infrastrukturplanung bei Elektrofahrzeugflotten (*Mummel*)

Nils Gräfer	Auswirkungen netzdienlicher Wärmepumpensysteme auf das Niederspannungsnetz in Neubaugebieten ( <i>Koch</i> )
Stefan Hanisch	Entwicklung einer Matlab/PowerFactory Schnittstelle ( <i>Loges</i> )
Marvin Hugo	Planung und Inbetriebnahme eines Messaufbaus zur Untersuchung von Schaltlichtbögen in fremderregten Magnetfeldern von DC-Schützen in HV-Bordnetzen ( <i>Köpf</i> )
Philipp Kiemele	Thermisches Verhalten von Kabeln bei wiederkehrenden, kurzzeitigen Überlastungen ( <i>Wussow</i> )
Jan-Niclas Krokowski	Auswirkungen des Network Code on Electricity Balancing auf nationale und internationale Regelleistungssysteme ( <i>Osterkamp</i> )
Benjamin Lison	Modellierung und Optimierung von Smart Home-Systemen ( <i>Koch</i> )
Bach Khoa Nguyen	Implementierung der Messung bei simultaner Mehrfachnutzung ( <i>Soyck</i> )
Lukas Otte	Auswirkungen von Nur-Stromhaushaltskonzepten auf das Niederspannungsnetz eines Neubaugebietes ( <i>Koch</i> )
Enno Peters	Umsetzung einer Schnittstelle zur Verarbeitung und Protokollierung von Messdaten innerhalb einer softwarebasierten Fehlerdetektionsroutine ( <i>Klosinski</i> )
Niklas Rühmann	Erprobung der Blitzstoßspannungsprüfung nach IEC FDIS 61180 an Niederspannungsgeräten ( <i>Schierding</i> )
Marlena Schade	Vergleich unterschiedlicher Betriebsstrategien zum kombinierten Einsatz von PV-Anlagen ( <i>Koch</i> )
Steven Siemen	Informations- und Kommunikationstechnik im Energienetz - Anwendungen, Anforderungen und Auswirkungen einer zunehmenden Vernetzung ( <i>Osterkamp</i> )
Lara Sliwinski	Auswahl und Dimensionierung von dezentralen Energieanlagen zur Versorgung eines Beispielhaushaltes im Black-Out-Szenario ( <i>Diekmann</i> )
Marius Tannenbaum	Einbindung von flexiblen Kundenlasten in das virtuelle Kraftwerk der Stadtwerke Hannover AG ( <i>Seidel</i> )
Timo Vogelsang	Konzipierung und Umsetzung von Ladealgorithmen zum Laden von Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung von Erneuerbaren Energien ( <i>Soleymani</i> )
Henrik Wagner	Analyse von strategischem Bieterverhalten auf Regelleistungsmärkten mit Ausblick auf zukünftige Marktformen ( <i>Osterkamp</i> )
Niklas Weber	Wirtschaftlichkeitsanalyse des Netzanschlusses beim induktiven Hochleistungsladen ( <i>Wussow</i> )

Maximilian N. Weise      Optimierung einer kapazitiven Feldsteuerung für Vakuum-Doppel-Unterbrecher mit Hilfe einer elektrischen Feldsimulation (*Kühn*)

Mara Woermann      Konzepte Virtueller Kraftwerke zur Bewirtschaftung von mehrfach genutzten Speichern (*Lobas-Funck*)

## 2.5 Masterarbeiten – Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Eugen Chernyak      Potentialanalyse von kombinierten Regelleistungsangeboten aus Windkraft und Photovoltaik (*Seidel*)

Mira Frickemeier      Auswirkungen unterschiedlicher Ladesteuerungen von Elektrofahrzeugen auf das Niederspannungsnetz eines Neubaugebietes (*Koch*)

Tanja Goretzky      Netztechnische Analyse unterschiedlicher Betriebsweisen von Nur-Stromhaushalten im Niederspannungsnetz eines Neubaugebietes (*Koch*)

Stefan Helm      Hochdynamische Hardwaresimulation eines regelbaren Ortsnetztransformators mittels eines programmierbaren Netzsimulators und Analogsteuerung (*Marggraf*)

Pascal Hennekes      Untersuchung magnetischer Werkstoffe in Experiment und Simulation für den Einsatz in DC-Schützen von HV-Bordnetzen (*Köpf*)

Hui Jin      Entwicklung eines Batteriemodells auf Systemebene zur thermischen und elektrischen Simulation von Fahrzyklen (*Hauck*)

Miro Klischewski      Lastverschiebungspotential in der Produktion: Erstellung eines Systemmodells für eine bidirektionale Ladesteuerung von Elektrowerkzeugen auf Anreiz von Preissignalen (*Mummel*)

Quirin Leiss      Modellierung eines Nur-Stromhaushalts in der Gebäudesimulationsumgebung TRNSYS und Evaluierung der thermischen sowie elektrischen Leistungsflüsse anhand realer Messdaten (*Koch*)

Robin Meier      Untersuchung der elektrischen Festigkeit von gasförmigem Stickstoff für Hochtemperatur-Supraleiter-Anwendungen bei Wechselspannung. (*Hill*)

Viet Phan      Erarbeitung von Kennzahlen und Verfahren zur Auswertung von induktiven Ladevorgängen der „emil“ Busse in Braunschweig (*Soyck*)

Fabian Prexler      Konzeptionierung und Umsetzung zentraler Energiemanagement-Funktionen eines Smart Apartment Buildings (*Diekmann*)

Florian Rauscher      Frequenzhaltung in umrichterdominierten Netzen (*Seidel/Laudahn*)

Patrick Ross	Weiterentwicklung und Untersuchung einer softwarebasierten Fehlerdetektionsroutine für den Einsatz in DC-Niederspannungsnetzen ( <i>Klosinski</i> )
Robin Schrader	Untersuchung zur Spannungsfestigkeit einer Schaltstrecke nach hybridem Ausschaltvorgang ( <i>Bösche</i> )
Alina Schuprin	Auswirkungen netzdienlich betriebener Nur-Strom-Haushalte auf das Niederspannungsnetz ( <i>Koch</i> )
Jill G. Kwajiep Seuyip	Untersuchung des Verhaltens von Spannungshaltungskonzepten in Fehler- und Extremsituationen in Simulation und Laborversuch ( <i>Marggraf</i> )
Thomas Schulte	Entwicklung eines LabVIEW-Programms zur automatisierten Bildauswertung von Metaldampfbögen während Ausschaltvorgängen ( <i>Pieniak</i> )
Sonja Spille	Analyse und Implementierung von dezentralen Energiespeichern in ein Fundamentalmodell des Energiemarktes ( <i>Unger</i> )
Fushi Yang	Aufbau eines Batteriemanagementsystems und Entwicklung einer Steuerungssoftware für Lithium-Ionen Batterien für Laborversuche ( <i>Hauck</i> )
Liwen Zhang	Reduzierung der Hausanschlussleistung durch den Einsatz von Batteriespeichern ( <i>Loges</i> )
Qianghan Zeng	Konzeptionierung eines kompakten Hochspannungskreises zur Nachbildung der Einschwingspannung eines synthetischen Leistungsprüffeldes ( <i>Kühn</i> )

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

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck; Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp; Uwe Westerhoff, M.Sc.; Jan Mummel, M.Sc.*

Zur Stärkung des wissenschaftlichen Austausches sowie zur Planung der strategischen Ausrichtung des Instituts wurden am elenia drei Forschungsschwerpunkte aufgebaut (Abbildung 3). Die drei Schwerpunkte werden jeweils von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter als Schwerpunktleiter koordiniert. Dabei wird er von einem erfahrenen Wissenschaftler als Mentor unterstützt.

Der Schwerpunkt „Komponenten der Energieversorgung“ wird von Herrn Tobias Hartmut Kopp als Schwerpunktleiter geleitet. Herr Prof. Kurrat betreut diesen als Mentor. Der Schwerpunkt beschäftigt sich aktuell mit Forschungsfragen zur

Technologie von Nieder- und Hochspannungsschaltanlagen. Im Bereich der Isolationskoordination werden die Einflüsse besonderer Umgebungsbedingungen untersucht, wie tiefkalte und hohe Betriebstemperaturen, Vakuum und elektrostatische Felder. Die experimentellen Arbeiten zu Schalt- und Schutzgeräten erforschen die Wirkmechanismen für das strombegrenzende Schalten vom transienten Stoßstrom bis zum Gleichstrom. Ein aktuelles Schwerpunktprojekt, welches sich hiermit beschäftigt ist, der Aufbau unseres neuen Gleichstrom-Hochleistungsprüffelds für den Nieder- und Mittelspannungsbereich.

Der Schwerpunkt Elektromobilität wird von Dr. Frank Lienesch (PTB) als externer Mentor betreut sowie von Uwe Westerhoff und Jan Mummel als Schwerpunktleiter koordiniert. Im Schwerpunkt Elektromobilität werden Forschungsfragen zu den Themen Batterietechnik, HV-Bordnetz sowie der Ladeinfrastruktur und dem Lade- und Energiemanagement von Elektrofahrzeugen behandelt. Die Forschung im Rahmen der Batterietechnik erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der BatteryLab Factory Braunschweig (BLB).

Der Schwerpunkt Aktives Verteilnetz wird von Herrn Prof. Engel als Mentor betreut und von Frau Franziska Lobas-Funck als Schwerpunktleiterin geführt. Im Schwerpunkt Aktives Verteilnetz werden Forschungsfragen zur Netz-, Markt- und Systemintegration erneuerbarer Energieanlagen untersucht. Dabei stehen die Entwicklung neuer Spannungshaltungskonzepte,

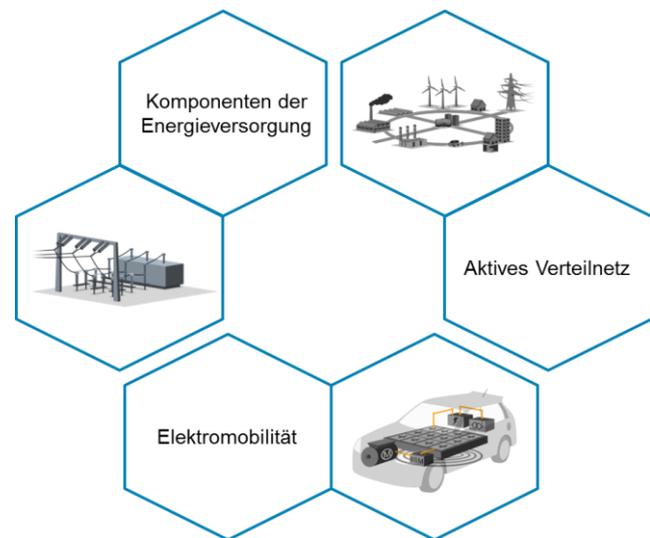


Abbildung 3: Schwerpunkte am elenia  
Figure 3: Research focuses at elenia

der Aufbau von Energiemanagementkonzepten für Ein- und Mehrfamilienhäuser und die Integration von Batteriespeichern in die bestehenden Netze im Fokus. Weiterhin werden neue Marktmodelle entwickelt, welche die Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus Wind und Photovoltaik (PV) ermöglichen.

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck; Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp; Uwe Westerhoff, M.Sc.; Jan Mummel, M.Sc.*

With the intention of reinforcing the scientific exchange as well as planning the strategic alignment of the institute, the elenia established three research focus groups (Figure 3). Each of these three groups are supervised by a mentor and coordinated by the research focus group leaders.

The research focus “Power system components” is managed by Tobias Hartmut Kopp, and mentored by Professor Kurrat. The group focuses on current research question concerning technology in low- and high-voltage switchgear. In the area of insulation coordination, the influences of special ambient conditions are investigated, such as low and high operating temperatures, vacuum and electrostatic fields. The experimental work on switching and protective devices investigates the operating mechanisms for current-limiting switching from transient surge current to direct current. A current research focus project is the construction of our new DC high-voltage test field for the low and medium voltage range.

The research focus “Electric Mobility” is managed by Uwe Westerhoff and Jan Mummel and mentored by Dr. Frank Lienesch (PTB). This research focus deals with the subjects of battery technology, HV electrical wiring as well as charging infrastructure and the charging and energy management of electric vehicles. The research on battery technologies is carried out in close collaboration with the BatteryLab Factory Braunschweig (BLB)

The research focus “Smart Grids” is managed by Franziska Lobas-Funck and mentored by Professor Engel. Research questions are grid, market and system integration of renewable energy systems. The focus is on the development of new voltage control concepts, the development of energy management concepts for single and multi-family houses and the integration of battery storage into existing networks. In addition, new market models are developed which enable the provision of system services from wind and photovoltaic energy.

### 3.1 Komponenten der Energieversorgung – Power System Components

#### Smart Modular Switchgear – Fehlerdetektion, -ortung und –abschaltung in DC-Netzen

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan; Christoph Klosinski, M.Sc.; Lorenz Soleymani, M.Sc.*

Aufgrund der Energiewende muss die bestehende Netzstruktur in Deutschland an die neuen Anforderungen der elektrischen Energieversorgung angepasst werden. Besonders der wachsende Anteil dezentraler Erzeugungseinheiten im Netz, welcher in den letzten Jahren zugenommen hat, erfordert eine Optimierung der historisch gewachsenen Versorgungsstrukturen. Aus diesem Anlass ist ein steigender Bedarf an Gleichstrom zu beobachten. Dadurch werden in Zukunft die Anwendungsfelder für Gleichstrom weiter wachsen. Der Ausbau der Gleichstromnetze stellte folglich einen vielversprechenden Ansatz dar, um die Versorgung mit Energie auch in Zukunft zuverlässig zu gewährleisten.

Damit der zunehmende Einsatz von Gleichstrom und die steigende dezentrale Erzeugung im Niederspannungsbereich möglich sind, wird ein Schalt- und Schutzkonzept benötigt, welches einen sicheren Betrieb der Netze gewährleistet. Dieses Konzept muss die Kommunikation zwischen Steuer-, Schutz-, Schalt- und Messtechnik ermöglichen, um eine vollständige Überwachung des Netzes erreichen zu können. Voraussetzung hierfür ist die messtechnische Erfassung von Strom und Spannungswerten an verschiedenen Orten im Netz. Darüber hinaus besteht die Herausforderung in der schnellen Detektion von Überströmen. Infolgedessen kann ein synchrones Ausschalten und eine gleichmäßige Aufteilung der Schaltleistung im Fehlerfall erreicht werden.

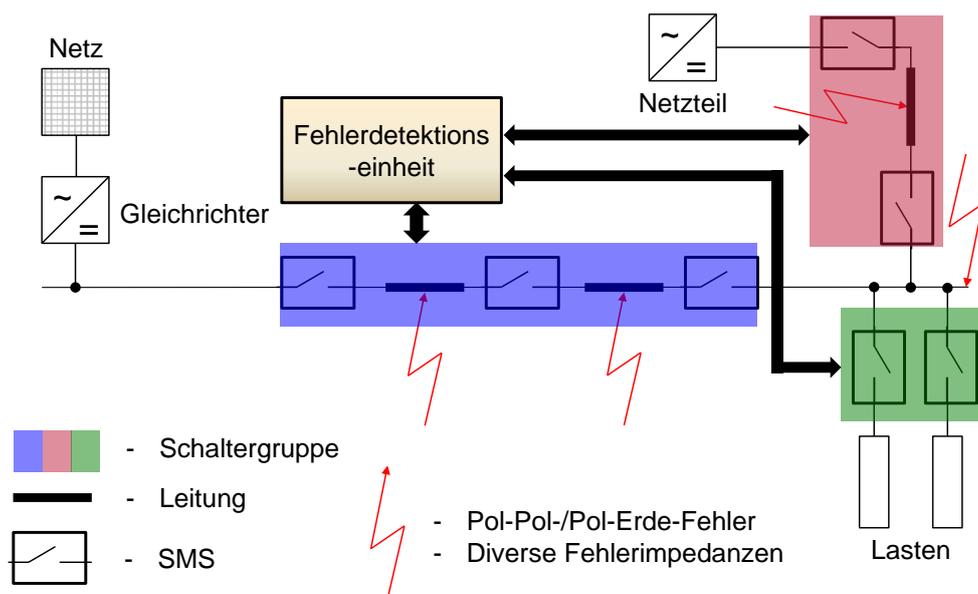


Abbildung 4: Smart Modular Switchgear Konzept

Figure 4: Smart Modular Switchgear concept

Smart Modular Switchgear (SMS) stellt ein neuartiges Konzept für den Schutz von DC-Niederspannungsnetzen dar und basiert auf dem Ansatz, die im Netz auftretenden Ausgleichsvorgänge auszuwerten. In Abbildung 4 ist das Schema des Smart Modular Switchgear Konzepts abgebildet. Kommt es im Fehlerfall zu einem solchen Ausgleichsvorgang, werden die damit einhergehenden Veränderungen von Strom und Spannung aufgrund der kontinuierlichen Überwachung messtechnisch erfasst (Abbildung 5). Liegen die erfassten Werte außerhalb eines zulässig definierten Bereichs, wird dies als Fehler interpretiert und es werden entsprechende Schutzmaßnahmen eingeleitet. Die Erfassung der Messwerte wird an jedem Schalter durchgeführt und sorgt so für eine detaillierte Darstellung der Fehlerstromverhältnisse. Die Fehlerdetektionseinheit wird innerhalb der Softwareumgebung LabVIEW umgesetzt und kann durch die Input/Output-Module mit den Schaltgeräten kommunizieren. Somit werden im Fehlerfall die Ausschaltbefehle an die entsprechenden Schalter weitergeleitet.

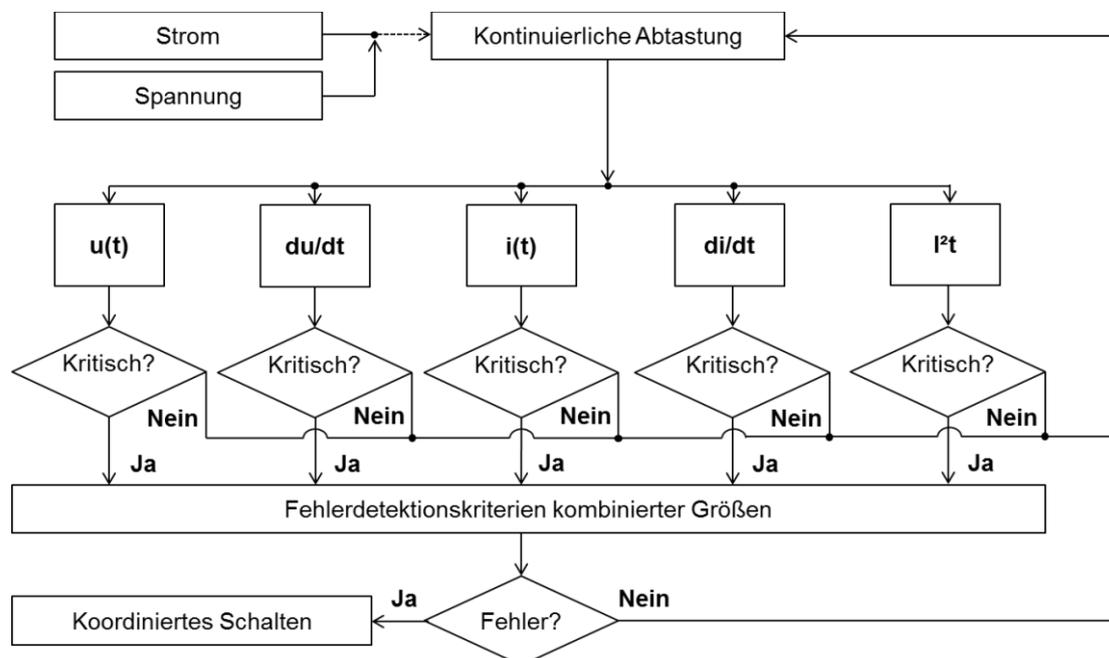


Abbildung 5: Flussdiagramm der Fehlerdetektionsroutine

Figure 5: Fault detection routine flow chart

### Smart Modular Switchgear – Fault detection, localisation and interruption in dc systems

*Dr.-Ing. Nasser Hemdan; Christoph Klosinski, M.Sc.; Lorenz Soleymani, M.Sc.*

An increasing number of today's power sources' and loads' technology is DC driven. This evokes the demand of connecting them via DC distribution instead of the commonly used AC grid and hence reducing conversion steps. Smart Modular Switchgear (SMS) represents a novel concept for protection of DC low-voltage power grids. The project is based on the approach of evaluating the balancing processes occurring in power grids. Figure 4 shows the

scheme of the Smart Modular Switchgear concept. In the event of a fault, the resulting changes in current and voltage are measured by the continuous monitoring (Figure 5). If the detected values are outside a permissible range, it is interpreted as an error and corresponding protective measures are initiated. The recording of these measured values is carried out on each switch. This provides a detailed representation of the error current ratios. In the event of a fault, the switch-off commands are forwarded to the corresponding switches in order to change selectively. The detection environment is implemented within the software LabVIEW and can communicate with the switching devices through the input/output modules.

### **Temperaturabhängiges Verhalten von Niederspannungsschaltgeräten – aktuelle Forschung**

*Dipl.-Ing. Carola Schierding; Dipl.-Ing. Nicholas Hill; Dr.-Ing. Michael Hilbert*

Im Bereich der Niederspannungsgeräte kann in den letzten Jahren eine fortschreitende Miniaturisierung beobachtet werden. Infolgedessen verringert sich die Dicke der Isolation zwischen spannungsführenden Komponenten entgegengesetzter Polarität sowie geerdeter Teile, wodurch sich die elektrischen Feldstärken bis auf Werte ähnlich denen in der Hochspannungstechnik erhöhen. In Hohlräumen oder an Oberflächen können sich Teilentladungen (TE) ausbilden, die nur einen Teil der Isolierstrecke überbrücken und somit nicht zum unmittelbaren Versagen der gesamten Isolierstrecke führen. Zusätzlich sind spannungsführende Komponenten von Schaltgeräten oftmals mit Feststoffisolation ummantelt und das elektrische Isolierverhalten dieser Feststoffe ist temperaturabhängig. Diese Temperaturabhängigkeit wird relevant, wenn die Niederspannungsschaltgeräte in abgeschlossenen Räumen mit einer nicht ausreichenden Kühlung betrieben werden und sich somit Temperaturen oberhalb der eigentlichen Betriebstemperatur ergeben können. Daher wird die TE-Diagnostik besonders wichtig, wenn durch die steigende Miniaturisierung und die erhöhten Betriebstemperaturen der Einsatz der TE bis auf Werte nahe oder kleiner der Betriebsspannung verschoben wird. Durch (dauerhaft) auftretende TE kann es zu einer Schädigung der Komponenten kommen. Zusätzlich sind die dielektrischen Eigenschaften der verwendeten Feststoffisolationen ebenfalls temperaturabhängig. Dazu gehören zum Beispiel die Materialeigenschaften wie Dielektrizitätszahl und Verlustfaktor. Dies kann, neben dem möglichen Einfluss auf den TE-Einsatz, zur Verringerung der elektrischen Festigkeit des Isoliersystems führen.

Aufgrund der genannten Begebenheiten wird am elenia das temperaturabhängige Verhalten von Feststoffisolationen bei Niederspannungsschaltgeräten in Hinblick auf TE, Dielektrizitätszahl, Verlustfaktor und Durchschlagsfestigkeit untersucht. Hierfür steht ein selbstentwickelter Prüfaufbau (Abbildung 6) zur Verfügung. Dieser ermöglicht die temperaturabhängige TE-Messung und Durchschlagsprüfung von Feststoffisolationen in Luft bei 20°C bis 150°C bis zu einer Spannung von 60 kV.

Erste Versuche an Niederspannungsgeräten haben gezeigt, dass die Spannung bei der TE einsetzen (TE-Einsatzspannung) mit steigender Temperatur abnimmt. Es konnte eine starke Korrelation zwischen der Verringerung der Einsatzspannung und der Änderung der Durchschlagspannung der Luft festgestellt werden. Die Modellvorstellung ist begründet in der temperaturbedingten Dichteänderung in einem Hohlraum mit Kontakt zum Umgebungsmedium.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll ist, die Notwendigkeit für TE-Untersuchungen an Niederspannungsschaltgeräten neu zu bewerten und weitere Versuche zur Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf das elektrische Isolierverhalten durchzuführen.

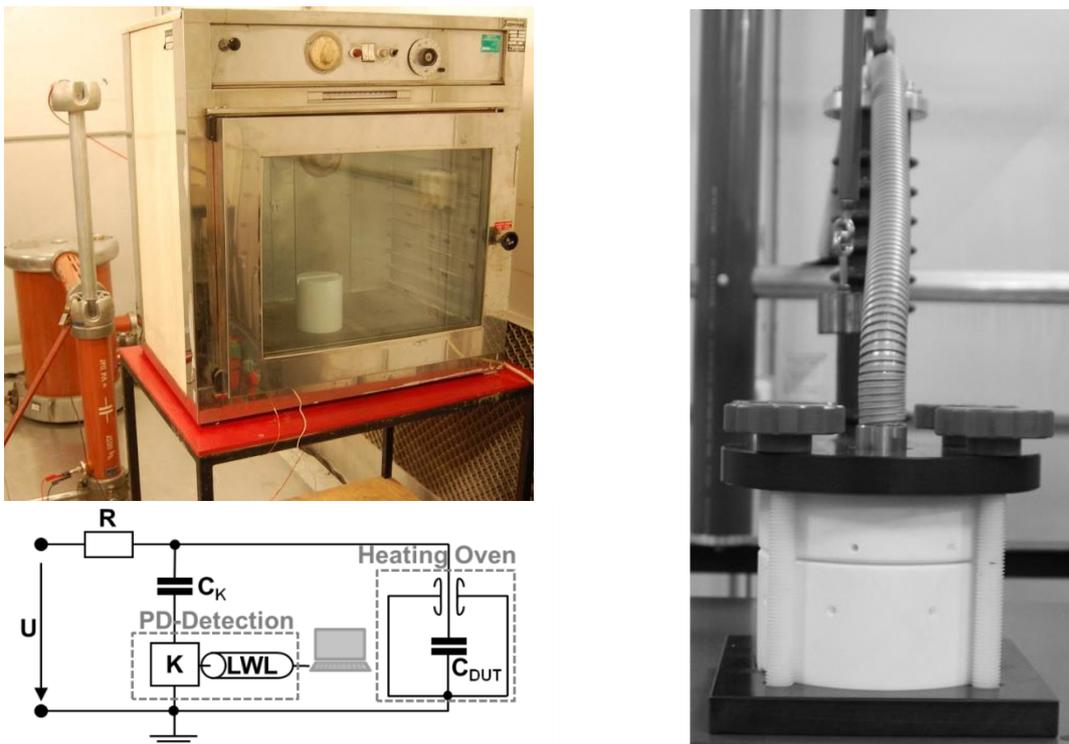


Abbildung 6: Messkreis zur TE-Untersuchung (links) und Prüfgefäß zur Durchschlagsfestigkeit-Prüfung (rechts) bei verschiedenen Temperaturen

Figure 6: Test circuit for PD-investigation (left) and test-vessel for dielectric-strength-investigation (right) at different temperatures

### Temperature dependent behaviour of low voltage equipment – state of the art research

*Dipl.-Ing. Carola Schierding; Dipl.-Ing. Nicholas Hill; Dr.-Ing. Michael Hilbert*

For low voltage switchgear time has seen an increasing miniaturization. This miniaturization leads to smaller insulation thicknesses and thus increases the electric field strength to values known in the high voltage regime. Due to these high electric field strengths, partial discharges (PD) can occur. Additionally, low voltage equipment is often mounted in enclosures and is covered with a solid insulation which can result in high operating temperatures. As a result of

the temperature dependent behaviour of the material constants the material exhibits a temperature dependent change in the insulation behaviour. This can lead to lower voltages at which partial discharges ignite (PD inception voltage).

Therefore, an investigation at elenia has been started to characterize the temperature dependent behaviour of the solid insulation materials. A self-developed experimental setup (Figure 6) has been built to measure PD inception voltage, breakdown voltage, relative permittivity and dissipation factor at temperatures from 20°C to 150°C and up to 60kV.

For low voltage busbars a reduction of PD inception voltage with temperature has been observed and could be correlated to the density-related change of breakdown voltage in gas filled voids.

The hitherto results show that it is necessary to re-evaluate Partial Discharge Testing for low voltage equipment and that further research is needed to determine the influence of the temperature on the performance of the solid insulation.

### **Untersuchungen von Blitzstromableitern basierend auf Funkenstreckentechnologie bei Stoßstrombelastung**

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp; Tobias Runge, M.Sc.; Christian Sander, M.Sc.*

Blitzstromableiter (Typ 1 Ableiter) dienen zum Schutz elektrischer und elektronischer Geräte vor Überspannungen. Bei Blitzstromableitern, basierend auf der Funkenstreckentechnologie, wird in dem Ableiter bei einer definierten Überspannung ein Lichtbogen zwischen zwei Elektroden gezündet. Die Überspannung wird auf die Lichtbogenspannung reduziert und ein auftretender Blitzstrom wird gegen Erde abgeleitet. Aufgrund des Einbauortes von Blitzstromableitern kommt es während eines Ableitvorgangs zu Wechselwirkungen mit dem Versorgungsnetz, hierbei könnten Netzfolgestrome Sicherungen auslösen oder den Ableiter teilweise zerstören. Neuerdings werden deshalb sogenannte netzfolgestromfreie Funkenstrecken eingesetzt.

Für deren Untersuchungen stehen am elenia unterschiedliche Stoßspannungs- und Stoßstromgeneratoren zur Verfügung. Eine Besonderheit für die Untersuchungen von Blitzstromableitern ist das Blitzschutzlabor, welches zusätzlich zu einem Stoßstromgenerator (8/20  $\mu$ s, 25 kA) drei 130 kVA Transformatoren über einen optischen Sequenzer potentialgetrennt zuschalten kann. Bei diesen sehr schnellen Lichtbogenvorgängen ist eine stabile und zeitdiskrete Messtechnik notwendig. Hierfür stehen fünf Messsonden mit einer Amplitudenauflösung von 14-bit bei einer Samplingrate von 100 MS/s zur Verfügung. Die Messsonden sind über Lichtwellenleiter potentialgetrennt an das Messsystem angeschlossen. Weiterhin stehen diverse Messeinrichtungen, wie zum Beispiel eine High-Speed Kamera und Drucksensoren, bereit. Untersucht werden unter anderem das Verhalten und der Löschvorgang des Netzfolgestromes, die Wechselwirkung des Stoßstromes mit dem Netz, die Plasmaausbreitung und die Plasma-

eigenschaften. Im Folgenden wird ein Einblick in die Ergebnisse dieser Untersuchungen am Beispiel des Plasmadruckes gegeben.

Der Plasmadruck wurde an einer am elenia entwickelten Funkenstrecke mittels piezoelektrischer Sensoren gemessen. In dieser Funkenstrecke wird das Plasma in einen engen Spalt mit stark gasenden Kammerwänden eingequetscht und mit Stoßströmen mit einer Amplitude bis zu 23 kA beansprucht. Der Verlauf des gemessenen Druckes und Stoßstromes ist in Abbildung 7 dargestellt. Hierbei kommt es zu Gradienten in den Flanken von bis zu 71 bar/ $\mu$ s und einem maximalen Druck von 599 bar.

Diese Plasmadaten werden bestehende Plasmamodelle des Institutes erweitern und damit eine genauere Beschreibung des Plasmaverhaltens und der Löschung des Netzfolgestromes ermöglichen.

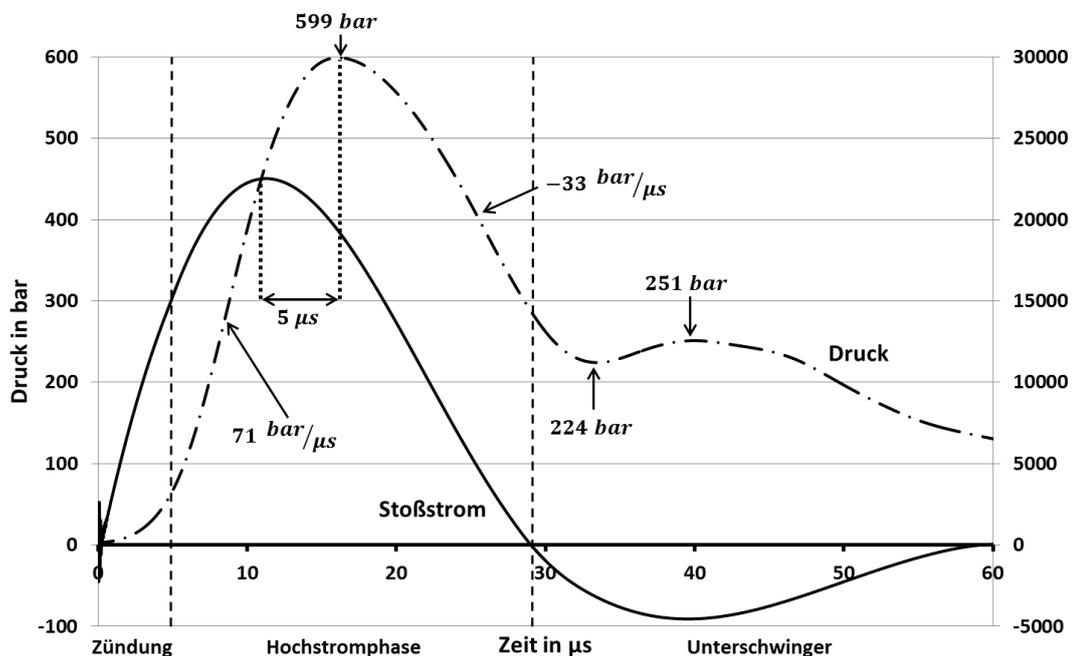


Abbildung 7: Verlauf des Druckes und des Stoßstromes.

Figure 7: Behaviour of the plasma pressure and current.

### Investigations on surge arresters based on the spark gap technology

*Dipl.-Ing. Tobias Hartmut Kopp; Tobias Runge, M.Sc.; Christian Sander, M.Sc.*

The intended purpose of arresters (class 1) is the protection of electrical equipment against overvoltage. In arresters, based on the spark gap technology, an electric arc is ignited when an overvoltage occurs. The overvoltage will be reduced and an emerging lightning current will be bypassed. During a lightning event an interaction with the AC distribution grid will take place. A follow current from the distribution grid could lead to the tripping of fuses or to partial destruction of the arrester. To avoid this, so-called follow current free spark gaps are used.

To investigate spark gaps, the “lightning protection laboratory” is equipped with a surge current generator (8/20  $\mu$ s, 25 kA) and three 130 kVA transformers. The surge current generator can be control phase synchronized to the low voltage grid. For the measurements five optical separated measurement probes can be used. Furthermore, different measurement equipment like high-speed-cameras and pressure sensors are available. Among others, the arc behaviour during follow current, and plasma properties are examined. In the following paragraph a short introduction in the ongoing analysis of the plasma pressure in spark gaps will be presented.

The plasma pressure was investigated at a model spark gap, developed by the institute, employing a piezoelectric sensor. In the spark gap the plasma is quenched in a small arc chamber with gassing chamber walls. A surge current (8/20  $\mu$ s) with an amplitude of 23 kA is applied. The curve characteristics of the measured pressure are given in Figure 7. Pressure gradients of up to 71 bar/ $\mu$ s are occurring and a maximum pressure of 599 bar can be observed.

The plasma properties will expand the plasma models of the institute and therefore lead to a more precise description of the plasma behaviour during surge and current interruption.

### **Forschung im Bereich der Vakuumschalttechnik**

*Benjamin Kühn, M.Sc.; Tobias Pieniak, M.Sc.*

Das elenia arbeitet seit mehreren Jahrzehnten mit der ABB AG zusammen. Im Rahmen dieser Kooperation wurden überwiegend Themen in dem Bereich der Vakuumschalttechnik bearbeitet. Im Fokus standen Untersuchungen im Hochstromprüffeld des elenia. Hier kann ein (Vakuum-) Leistungsschalter mit Kurzschlussströmen von bis zu 63 kA (Effektiv) bei 50 Hz belastet werden. In einem aktuellen Vorhaben wird das Hochstromprüffeld zu einem synthetischen Leistungsprüffeld erweitert. Diesbezüglich wird ein separater Hochspannungsprüfkreis aufgebaut, welcher den Leistungsschalter nach der Hochstrombelastung (Hochstromphase) mit einer (transienten Wiederkehr-) Spannung von bis zu 130 kV (Spitze) belastet.

Das elenia hat sich hierbei auf die Untersuchung von Metaldampfbögen während Ausschaltversuchen spezialisiert. Im Hinblick darauf werden neben den konventionellen Messmethoden, wie der Strom- und Spannungsmessung, zusätzliche thermografische Analysen von Kontaktoberflächen mit einer Thermografiekamera und Beobachtung des Laufverhaltens von Metaldampfbögen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera durchgeführt.

Abbildung 8 illustriert transversal Magnetfeld (TMF)-Schaltkontakte mit einem angedeuteten Metaldampfbogen während der Hochstromphase. Der Stromfluss  $I$  erzeugt unterdessen ein Transversalmagnetfeld, welches durch die Form der Kontakte geführt wird. Getrieben von der Lorentzkraft  $F$  bewegt sich der Bogen über die Kontaktoberfläche. Dieser Bogen zieht dabei eine geschmolzene Spur  $A_{liq}$  hinter sich her. Das Bogenlaufverhalten und entsprechend  $A_{liq}$  wird hierbei unter anderem vom Kontaktabstand  $d_{Gap}$  beeinflusst.

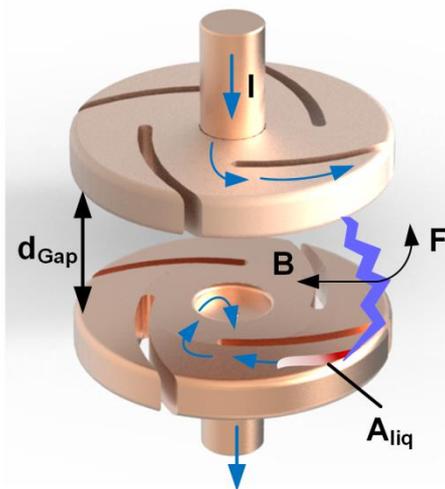


Abbildung 8: TMF-Schaltkontakte

Figure 8: TMF contacts

Zur Oberflächentemperaturmessung vom geschmolzenen Kontaktmaterial wird ein spezieller Versuchsaufbau zur Kalibrierung einer Thermografiekamera verwendet. Mit diesem Versuchsaufbau kann der Emissionsgrad flüssiger Metalle bestimmt werden. Für flüssiges Kupfer im Wellenlängenbereich von 1,5 - 1,7  $\mu\text{m}$  wird der Emissionsgrad zu 0,053 bestimmt.

Mit der Kamera wird die Schaltkontakt-Oberfläche (CuCr) während und nach der Metaldampfbogen-Phase eines Ausschaltvorgangs im Hochstromprüffeld beobachtet. Für einen geschmolzenen Anodenfleck

( $A_{liq}$ ) bei 19 kA (Effektiv) wurde eine Oberflächentemperatur von ca. 2100 K kurz nach dem Erlöschen des Plasmas gemessen. In der Literatur werden ähnliche Werte um 2000 K angegeben. Der Ansatz der Temperaturmessung von Metaldampfbogenfußpunkten mit einer konventionellen Thermografiekamera ist weltweit einzigartig und lässt sich auf eine Vielzahl von anderen Problemstellungen übertragen.

Neben der Temperaturmessung von Metaldampfbogenfußpunkten wird auch das Laufverhalten von TMF-Metaldampfbögen bei Vakuumschaltern untersucht. Von zentralem Interesse ist die Laufeigenschaft des Metaldampfbogens in Abhängigkeit von Größen wie der Stromstärke, dem Kontakthub und der Öffnungskennlinie der Kontakte. Ziel ist es, vor allem lange Metaldampfbögen bei Kontakthüben oberhalb von 60 mm zu untersuchen. Hierzu wurde ein neuer Vakuumversuchsstand entwickelt, welcher von der institutseigenen Werkstatt aufgebaut wird.

### Investigation of vacuum interrupters

*Benjamin Kühn, M.Sc.; Tobias Pieniak, M.Sc.*

In cooperation with ABB AG, the elenia has been researching topics around the vacuum interrupter for several years. The main focus of this research is the high power test field, which offers the possibility to test short circuit currents up to 63 kA (RMS) with a frequency of 50 Hz. At the moment, the test field is in progress to be improved for a synthetic test field. Therefore, a high voltage circuit supplies a transient recovery voltage (TRV) up to 130 kV (peak).

Main part of the research is the properties investigation of metal vapor arcs. In addition to conventional measuring methods like current and voltage measuring, the elenia does thermo-

graphic analysis with a thermographic camera. Supplementary, the arc is observed by a high speed camera.

In Figure 8 a TMF contact is illustrated. During the high current phase a metal vapor arc ignites. The current  $I$  supplies a transversal magnetic field which forces the arc to move in a circular over the contact surface. The arc root temperature is above the melting point of the contact material (CuCr). A trace of molten material  $A_{\text{liq}}$  is generated by the arc. The goal is to measure this arc root temperature using a thermography camera. Consequently, the emissivity of the contact material has to be determined in advance. A special test setup is available for this purpose. The determined emissivity value for copper is 0.053. With the camera, the contact surface (CuCr) is observed during and after the metal arc phase of a switching process in the high-current test field. For a molten anode spot ( $A_{\text{liq}}$ ) at 19 kA (RMS), a surface temperature of about 2100 K is measured shortly after the plasma extinguishes.

Besides the temperature research, the elenia investigates different arc modes. Thus, the arc properties in dependence of parameters like current intensity, contact gap and opening velocity are considered. The aim is to evaluate the properties of long switching arcs with gaps higher than 60 mm. The institutes own construction of a test vacuum interrupter is in building progress at the moment.

### **Neubau eines Hochleistungsgleichstromprüffeldes im Zuge des Projektes UPS**

*Dipl.-Ing. Hendrik Köpf; Dirk Bösche, M.Sc.*

Der Anteil an Gleichstromnetzen steigt stetig an. Einsatzgebiete sind unter anderem Bordnetze in Elektrofahrzeugen, sowie Schiffen oder Flugzeugen. Auch aufgrund der Energiewende ist ein weiterer Anstieg durch die Nutzung von erneuerbaren Energien wie Photovoltaiksystemen, stationären und mobilen Batteriespeichern, sowie die Netzanbindung von Offshore-Windparks zu erwarten. Um die Lastflüsse in diesen Netzstrukturen sicher steuern zu können, sind geeignete Leistungsschalter unabdingbar. Für die Entwicklung geeigneter, kostengünstiger Leistungsschalter ist die Kombination von modernsten Leistungshalbleitern und mechanischen Schutzschaltgeräten in einem Hybridschaltgerät, eine vielversprechende zukunftsweisende Lösung.

Hybride Leistungsschalter vereinen die Vorteile mechanischer Schaltgeräte und Leistungshalbleiter in einem Gerät und sind für Gleich- sowie Wechselstromanwendungen verwendbar. In dem Verbundprojekt Universal Power Switch (UPS) wird ein solcher optimierter Leistungsschalter entwickelt.

Im Zuge dieses Projektes entsteht am elenia ein neues Prüflabor für AC- und DC-Hochstromprüfungen. Das Labor wird gemäß den Erkenntnissen aus Normenrecherchen und den Definitionen der technischen Randbedingungen aufgebaut. Die gegenwärtigen Planungen sehen eine maximale Prüfspannung von 6 kV-DC und einen maximalen Prüfstrom im Bereich 10 kA bis 30 kA vor.

Aufgrund der angestrebten hohen Leistungen erfolgt die Planung der Netzanbindung in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Stellen der Technischen Universität Braunschweig, sowie dem örtlichen Netzbetreiber BS-Netz. Da es nicht möglich ist, diese Leistung aus dem 6 kV-Netz der Universität zu entnehmen, sieht der bisherige Planungsstand eine direkte Anbindung über eine neuerrichtete Schaltanlage in den Räumlichkeiten des elenia an das 20 kV-Stadtnetz vor. Das Herzstück des neuen Labors bildet der gesteuerte B12 Gleichrichter, welcher in Abbildung 9 zu sehen ist.

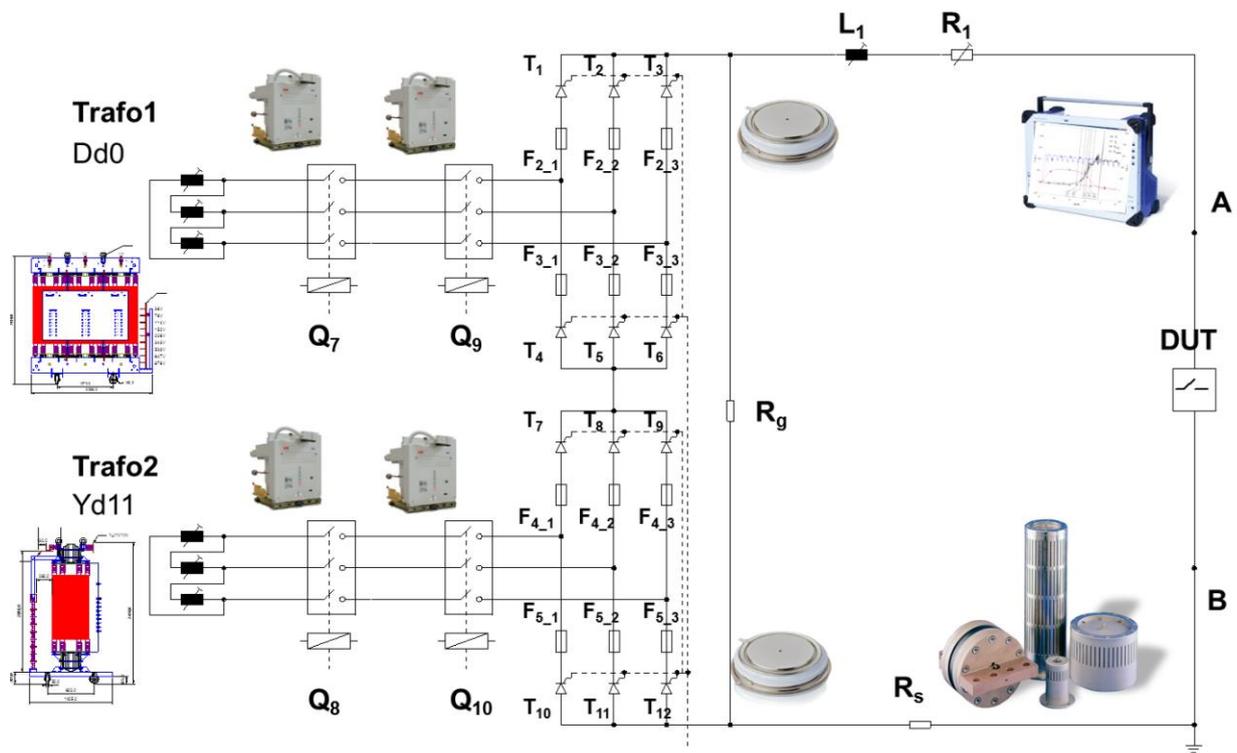


Abbildung 9: B12 Gleichrichter

Figure 9: B12 rectifier

Dieser wird über zwei Transformatoren, die in den Kellerräumen des Institutes aufgestellt werden, versorgt. Durch die um  $30^\circ$  verschobene Ausgangsspannung der beiden Transformatoren wird eine besonders geringe Restwelligkeit der Gleichspannung erreicht. Das eigentliche Prüffeld samt Gleichrichter, Mess- und Prüftechnik wird in der Hochspannungshalle des Institutes errichtet. Die Installation, sowie Kalibrierung der neuen Messtechnik wird in enger Zusammenarbeit mit der PTB erfolgen.

### New construction of a high power direct current test bay as part of the project UPS

*Dipl.-Ing. Hendrik Köpf; Dirk Bösche, M.Sc.*

The amount of DC-grids is increasing steadily, as fields of application are, amongst others, distribution systems in electric vehicles, ships or planes. In consideration of the energy revolution, a further increase can be expected. This is due to usage of photovoltaics, mobile and

stationary battery storage devices, as well as grid connection of offshore wind parks. Suitable circuit breakers to safely control the power flow in these net topologies are indispensable. For the development of such an, ideally, inexpensive breaker, the combination of modern semiconductors and a mechanical switch to form a hybrid switch is a promising and trendsetting solution. The aforementioned switch combines the advantages of a mechanical and semiconductor switch in one unit. It is usable for AC and DC applications. Such an optimized circuit breaker will be developed in the UPS (universal power switch) joint project of industry and science. As part of this project a new high power current test lab will be built at the institute.

### 3.2 Elektromobilität – Electric Mobility

#### **Aufnahme der Zellproduktion und Optimierung des Formierprozesses mittels der Projekte DaLion, OptiZellForm und QuEEP**

*Kerstin Kurbach, M.Sc.; Uwe Westerhoff, M.Sc.*

Der Forschungsschwerpunkt Batterietechnik hat in diesem Jahr die Arbeit an den zwei neuen Forschungsprojekten DaLion und OptiZellForm aufgenommen sowie über die Infrastrukturmaßnahme QuEEP die Anlagenerweiterung der Battery LabFactory Braunschweig (BLB) vorangetrieben. Im Rahmen des Projektes DaLion (DataMining in der Produktion von Lithium-Ionen Batteriezellen) werden seit Dezember 2015 die Wirkzusammenhänge und Wechselwirkungen innerhalb der Produktion von Lithium-Ionen Batteriezellen erforscht. Dazu werden alle relevanten Produkt- und Prozesseigenschaften sowie Stoff- und Energieströme im Produktionssystem systematisch erfasst und mittels Methoden des Data-Mining zu einem Expertensystem verknüpft. So entsteht eine Datenbasis, die im Hinblick auf die Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung die Grundlage für eine Analyse, Bewertung und Entscheidungsunterstützung bei der Wahl der Eingangsparameter und Produktionsprozesse sowie deren Modellierung und Simulation darstellt. Der Fokus des elenia liegt bei diesem Projekt auf dem Prozessschritt der Formierung sowie der anschließenden Charakterisierung der Zellen hinsichtlich ihrer Leistungseigenschaften. Mittels einer standardisierten Formierungsprozedur werden die Zellen formiert und anhand eines definierten Katalogs von Qualitätskriterien bewertet. Das Ziel ist mittels der ganzheitlichen Datenerfassung, der Qualitätskriterien und der Data-Mining-Methoden schnelle Rückschlüsse auf Produktionseinflüsse zu erlangen.

Darauf aufbauend wird im Projekt OptiZellForm (Beschleunigung und energetische Optimierung der Zellformierung) der Prozess der Formierung sowie der anschließenden Reifung näher untersucht. Neben der Variation von elektrochemischen Prozessparametern während der Formierung, welche federführend durch das elenia betrachtet werden, stehen durch das Batterieforschungszentrum MEET (Münster Electrochemical Energy Technology) chemische Einflussfaktoren im Fokus der Untersuchungen. Durch das PEM (Production Engineering of E-Mobility Components, RWTH Aachen) wird der Einfluss von Umgebungsbedingungen sowie die Lage der Zellen auf den Reifeprozess untersucht. Gestützt auf das verbesserte Prozessverständnis werden optimierte Formierungs- und Reifungsstrategien mit dem Ziel einer zeiteffizienten Prozessführung entwickelt. Dieses Forschungsvorhaben ist Teil des Kompetenzcluster zur Batteriezellproduktion (ProZell) mit dem übergeordneten Ziel den Produktionsprozess von Batteriezellen und dessen Einfluss auf die Zelleigenschaften sowie die Produktentstehungskosten zu erarbeiten, im Detail zu verstehen und beschreiben zu können sowie kontinuierlich weiterzuentwickeln. Damit soll die wissenschaftliche Basis für den Aufbau und die nachhaltige Weiterentwicklung einer international führenden, wettbewerbsfähigen Batteriezellproduktion in Deutschland gelegt werden.

Unterstützt werden die beiden genannten Forschungsvorhaben durch die Infrastrukturmaßnahme QuEEP (Qualitätserhöhung und Verkürzung der Entwicklungszyklen von Energiespeichern durch Effizienzsteigerung der Produkt- und Prozess-Erforschung). Die Projekte DaLion und OptiZellForm erfordern die Untersuchung einer hohen Anzahl produzierter Zellen hinsichtlich ihrer Leistungseigenschaften, um die Ergebnisse statistisch abzusichern. Die dazu erforderlichen elektrochemischen Prüfungen sind mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Regulär benötigen Standardtests, bestehend aus Formierung und Reifung sowie C-Ratentest, Ruhephasen und eine Langzeitzyklisierung mit 500 Zyklen bei 1 C, durchschnittlich etwa 60 Tage pro untersuchte Zelle. Für die geplanten Untersuchungsmatrizen sowie die statistische Absicherung der Ergebnisse durch eine ausreichend hohe Zellenanzahl ist eine hohe Zahl an verfügbaren Kanälen für Zelltests erforderlich. Das Ziel von QuEEP ist daher eine Ausstattungserweiterung der BLB in Form von Anlagentechniken, um sowohl die mögliche Ergebnisanzahl als auch deren Aussagekraft durch statistische Absicherung zu steigern.

### **Intake of the cell production and optimisation of the forming process by means of the projects DaLion, OptiZellForm und QuEEP**

*Kerstin Kurbach, M.Sc.; Uwe Westerhoff, M.Sc.*

This year's research focus battery technology took up two new projects, DaLion and OptiZellForm, together with the facility addition of the Battery LabFactory Braunschweig (BLB) by means of the infrastructure method QuEEP. Since December 2015, the project DaLion (DataMining in the production of lithium-ion battery cells) researches the correlation and interaction within the production of lithium-ion battery cells. Elenia focuses on the process step of forming as well as the following cell characterisation according to the cells' capacities. The cells are forged by means of a standardised forming process, and are to be rated on the basis of a prior defined quality criteria catalogue. The objective is to use the prior collected data, quality criteria and data-mining method in order to deduct production impacts faster.

Subsequently, the project OptiZellForm (acceleration and energetic optimisation of cell forming) analyses the forming process and following development of the cells. In addition to the variation of electrochemical process parameters during the forming, which are prominently observed by elenia, the battery-research-center of Münster Electrochemical Energy Technology (MEET) focuses on the chemical effect. PEM (Production Engineering of E-Mobility Components, RWTH Aachen), examines the influence of ambient conditions, as well as the cell position relating to the developmental stage. The strategies for forming and maturing are cultivated with the objective to develop a time efficient process conduct, based on the improved insights on the process.

PEM and MEET are supported by the infrastructure scheme QuEEP (quality improvement and foreshortening of development cycles in energy store via efficiency improvement of the

product and process research). In order to ensure statistic results, DaLion and OptiZellForm require the study of high amounts of produced cells according to their capacity. The investigation matrices as well as the ensured statistic results of sufficiently large number of cells call for a high number of available parallel channels of cell tests. Therefore, QuEEP's objective is the equipment extension of BLB in form of industrial engineering; in order to elevate conceivable result numbers on top of the maximal improved quality.

### Untersuchung großformatiger Lithium-Ionen Batterien im Explosionsschutz

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Lithium-Ionen Batterien (LIB) sind Energiespeicher mit zahlreichen Vorteilen, wie hohe Energiedichte, hohe Zyklenzahl oder Schnellladefähigkeit, und daher in vielen mobilen und portablen elektrischen Geräten aktuell unersetzlich. Nachteilig bei LIB sind jedoch die Gefahren, die im Fehlerfall auftreten können. Hohes Marktpotential besitzen großformatige LIB vor allem für explosionsgeschützte Flurförderzeuge (FFZ). Aktuell werden ex-FFZ meist mit wechselbarer Blei-Säure Batterie ausgestattet. Den Vorteilen der hohen Sicherheit und des notwendigen Gegengewichtes, stehen erhöhte Betreiberkosten durch Batteriewechselstationen und kürzere Fahrstrecken gegenüber. Explosionsgeschützte elektrische Geräte müssen selbst im Fehlerfall die notwendige Sicherheit gewährleisten. Anzunehmende Fehler wie Überladung, Tiefentladung, interner oder externer Kurzschluss können in der Folge zu einem Temperaturanstieg oder elektrischen Funken führen, die wiederum zu einer Entzündung der umgebenden Atmosphäre verursachen können. Im Explosionsdreieck stellt die LIB daher im Gegensatz zur Normalanwendung nicht nur den Brennstoff, sondern vor allem die Zündquelle dar



Abbildung 10: LIB als Zündquelle im Explosionsdreieck  
Figure 10: LIB as ignition source in the explosion triangle

(Abbildung 10). Die Norm IEC 60079-0 beschreibt die Anforderungen an elektrische Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsfähigen Atmosphären. Allgemein dürfen Batterien im Explosionsschutz nur in Reihe geschaltet werden. Die jeweiligen Unternormen behandeln die speziellen Zündschutzarten, die im Explosionsschutz Anwendung finden. Teil 7 dieser Norm beschreibt beispielsweise den Geräteschutz durch erhöhte Sicherheit „e“ (IEC 60079-7). In dieser werden LIB mit einer Kapazität größer 25 Ah kategorisch ausgeschlossen. Ziel der Forschung ist das Risiko ausgehend von LIB in explosionsfähigen Atmosphären bewerten zu können. Neben einer theoretischen Zündgefahrenbeurteilung werden praktische Untersuchungen an verschiedenen LIB durchgeführt. Zu diesem Zweck wird ein Versuchsaufbau rea-

lisiert, der ein innovatives Batterie-Management-System (BMS) zur variablen Ansteuerung beinhaltet (Abbildung 11).

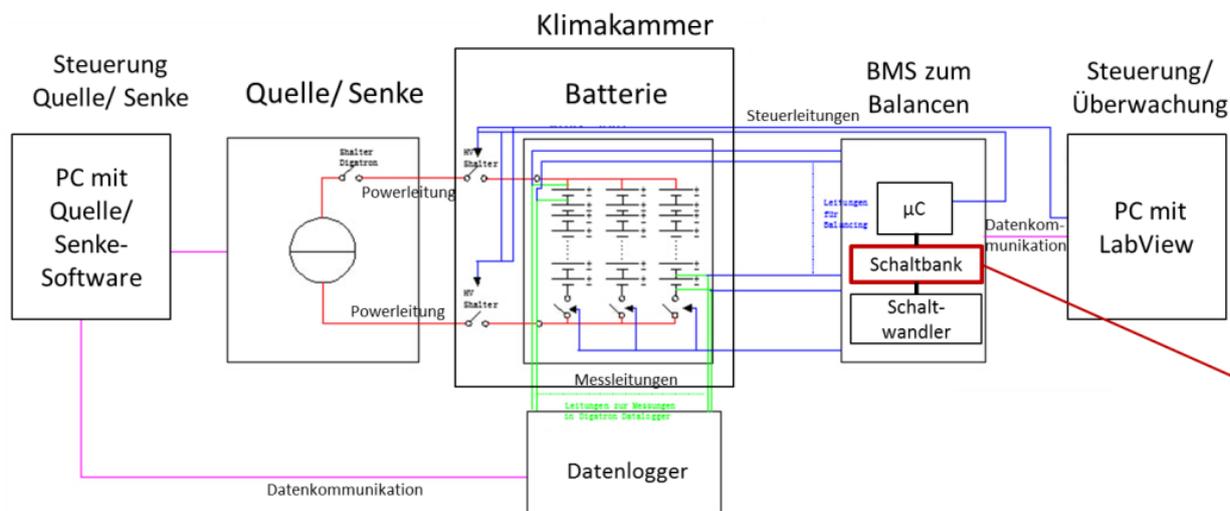


Abbildung 11: Versuchsaufbau mit innovativen BMS zur Fehleranalyse  
 Figure 11: Experimental setup with innovative BMS for failure analysis

Mit dem aktiven BMS soll durch das gezielte Herbeiführen eines Ungleichgewichts zwischen den einzelnen Zellen Fehlerfälle wie Tiefentladung, Überladung oder Alterung eingestellt und untersucht werden. Als Randbedingungen werden die Umgebungstemperatur, die Batterie-konfiguration sowie die Balancing-Strategie variiert. Langfristig sind auch Versuche unter explosionsfähiger Atmosphäre geplant.

Zur Sicherstellung eines geringen Risikopotentials der LIB und des BMS im Explosions-schutz werden zudem Zündschutzkonzepte untersucht.

### Investigation of large lithium-ion batteries for use in explosive atmospheres

*Dipl.-Ing. Daniel Hauck*

Lithium-ion batteries (LIB) have numerous advantages, such as high capacity, high life time and fast charge capability, thus they are currently the standard for mobile and portable elec-tronic devises. Moreover, there is a high market potential for large-size LIB, especially for explosion-proof industrial trucks (FFZ). Nevertheless, LIB's are highly dangerous when an error occurs. In the explosion triangle (Figure 10), the LIB is not just the burning material; much more it is the ignition source itself. Compared to LIB, the currently used lead-acid bat-teries have disadvantages in efficiency and total cost of ownership over lifetime. Therefore, the key motivation for the research in this field is to evaluate the risk of ignition hazard of LIB in explosive atmospheres. An experimental setup with innovative battery-manage-ment-system (BMS) for variable test scenarios has been developed (Figure 11). Failures like over charge, over discharge or aging depending on battery configuration, balancing strategy and

ambient temperatures will be investigated by systematically misbalancing of cells. Long term test under explosive atmospheres are planned with suitable ignition protection for LIB and BMS.

### **Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen – Projekte FleetsGoGreen, lautlos&einsatzbereit, emilia, DELTA**

*Jan Mummel, M.Sc.; Dipl. Ing. Jonas Wussow, Matthias Schmidt, M.Eng.*

Die Forschergruppe „Energiemanagement“ bildet die Schnittstelle der Forschungsschwerpunkte „Aktives Verteilnetz“ und „Elektromobilität“. Im Bereich der Elektromobilität werden Lösungen zur Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen entwickelt. So wurde im Rahmen des Projektes Fleets Go Green (welches im Oktober diesen Jahres erfolgreich abgeschlossen wurde) ein zentrales Lade- und Energiemanagementsystem entwickelt. Dieses lädt Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung von Erzeugungskapazitäten (lokale erneuerbare Energien), Lastrestriktionen (z.B. Netzanschlussleistung) sowie Fahr- und Fahrzeuginformationen. Darüber hinaus wurde im Projekt ein strategisches Planungstool für bedarfsgerechte Lade- und Energieinfrastruktur für Elektrofahrzeugflotten entwickelt, welches den Infrastrukturbetreibern sowie Flottenmanagern zur Entscheidungsunterstützung bei der Konfiguration der benötigten Infrastruktur für die Flottenfahrzeuge dient. Das Modell ermöglicht die Kombination von verschiedenen lokalen Erzeugungseinheiten, Lastgängen, sowie Fahr- und Fahrzeugparametern, um individuelle Anwendungsfälle zu analysieren und zu bewerten. Die Bewertung erfolgt hinsichtlich eines nachhaltigen und wirtschaftlichen Betriebs von Elektrofahrzeug(-flotten).

Im Projekt emilia (Elektromobilität mittels induktiver Ladung im Automobil), dem Nachfolgeprojekt von emil, wurde das induktive Hochleistungsladen in schwachen Netzausläufern untersucht. Dafür wurden Simulationen von vorstädtischen Netzen im Bereich realexistierende Bushalteendstellen durchgeführt. Darauf aufbauend wurden Ansätze zum netzdienlichen Verhalten ermittelt. Aus netztechnischer Sicht ist die Nutzung einer Stichleitung zwischen der Ladestation und dem jeweiligen Ortsnetztransformator in Verbindung mit der Bereitstellung von Blindleistung durch ein Active-Front-End (AFE) in der Ladestation eine Möglichkeit zur Integration des induktiven Hochleistungsladens in diesen Gebieten. Dieser Ansatz wird zukünftig auch bei weiter steigender Ladeleistung im PKW-Bereich und die steigende Durchdringung von Schnellladesäulen von Interesse sein. Die zukünftig hohe Durchdringung von Ladesäulen in Wohngebieten wird bereits in weiteren Forschungsarbeiten untersucht.

Im Projekt DELTA (Datensicherheit und -integrität in der Elektromobilität beim Laden und eichrechtkonformen Abrechnen) bearbeitet die AG 2.33 der PTB derzeit zwei Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket erfolgt die Systematische Bearbeitung des Themas Metrologischer Kundenschutz beim Stromladen über Stromverkaufsautomaten und die Zusammenfassung zu einem Handbuch Metrologischer Kundenschutz „HaMeKs“. Die zu bearbeitenden Aufgaben

beinhalten eine Umfassende Ermittlung, Analyse und Bewertung des Regulierungsrahmens bezüglich des metrologischen Kundenschatzes im Zusammenhang mit Stromverkauf über Stromverkaufsautomaten. Mit den gewonnen Erkenntnissen sollen Verbesserungsvorschläge und Alternativen zu den im Rahmen des Mess- und Eichrechts existierenden Regelungen und Vorgehensweisen erarbeitet werden. Des Weiteren sollen die Ergebnisse in einem Konzept zur verbesserten Beratung und Unterstützung der Kundinnen und Kunden zusammengefasst werden, um diese zu mehr Eigenschutz zu befähigen.

Im zweiten Arbeitspaket erfolgt der Aufbau eines In-Kabel-Leistungsmesssystems (InKaMs) zur metrologischen Charakterisierung von Ladevorgängen an Stromverkaufsautomaten. Hierbei wird ein Messsystem für elektrische Energie und Leistung zur Zwischenschaltung zwischen Fahrzeug und Stromverkaufsautomat aufgebaut. Dieses transportable Messsystem wird anschließend durch die Rückführung auf nationale Normale zum Referenzsystem.

### **Grid and system integration of electro vehicles – Projects FleetsGoGreen, lautlos&einsatzbereit, emilia, DELTA**

*Jan Mummel, M.Sc.; Dipl. Ing. Jonas Wussow, Matthias Schmidt, M.Eng.*

The research group “Energy Management” represents the intersection and needed interface of the research focuses “Smart Grid” and “Electric Mobility”. The area of “Electric Mobility” is concerned with solutions for net and system integration in electro vehicles.

During the scope of the Fleets Go Green project (which was successfully completed in October 2016), a centrally controlled “Charging and Energy-Management” system was developed. This system allows charge-management of electro vehicles with respect to the generation capacity, load restrictions, along with vehicle status information and drive behaviour. The system also comprises a strategic planning tool for adequate charging infrastructure for vehicles organized in a fleet. The goal is to offer fleet managers and infrastructure operators decision support during the configuration of the infrastructure required by the fleet. The model enables the combination of various power generation sources, loading profiles, as well as vehicle status and drive behaviour, in order to analyse and evaluate individual applications. This evaluation is executed with respect to a sustainable and economic operation of electro-vehicles and fleets.

Within the research project emilia, high-power inductive charging (200 kW) in weak grid branches was analysed. For this purpose, simulations of a suburban grid were run. Based on these findings, beneficial approaches were identified. A good way to integrate inductive, high performance charging in this area is to provide reactive power by charging station’s active-front-end (capacitive operation). Thus, using a stub cable between the charging stations and the local power transformer, which can supply the charging station via the LV-grid. The rising number of charging station with rising charging power will keep this aspect relevant.

In the DELTA project (Data Security and Data Integrity in Electromobility while Charging and Billing in Accordance with the Verification Act), PTB's Working Group 2.33 is currently dealing with two work packages. The first work package comprises the systematic handling on the topic of "metrological customer protection while charging with electricity via electricity sales machines" and its summary, a manual called "Metrological Customer Protection" ("HaMeKs"). Tasks within this package cover the comprehensive determination, analysis, and assessment of the regulatory framework with regard to metrological customer protection in connection with the sale of electricity via electricity sales machines. The obtained findings are to be used for elaborate suggestions on improvement and alternatives for the regulations and procedures existing within the scope of the Measures and Verification Act. In addition, the results are to be summarized in a concept about improved consultation and support for customers, in order to enable them to protect themselves more.

In the second work package, an in-cable performance measurement system called InKaMs is established for the metrological characterization of charging processes on electricity sales machines. Here, a measurement system for electrical energy and power is set up to be switched between the vehicle and the electricity sales machine. By linking it to national standards, this transportable measurement system will subsequently become the reference system.

### 3.3 Aktives Verteilnetz – Smart Grid

#### Spannungshaltung im Feldversuch

*Ole Marggraf, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow; Jonathan Ries, M.Sc.*

Im Juli und August diesen Jahres bekam das elenia eine mobile Zweigstelle auf der schwäbischen Alb. Im Rahmen des vom BMWi geförderten Forschungsprojektes U-Control fand im „NETZlabor Sonderbuch“ mit Unterstützung des Projektpartners Netze BW GmbH ein fünfwöchiger Feldversuch statt.

Zehnfach größere Einspeisungen durch die Photovoltaik (PV) als Lastbezüge stehen in dem Ort Sonderbuch an der Tagesordnung. Herausforderungen für den Netzbetreiber in der Spannungshaltung sind die Folge. Ein regelbarer Ortsnetztransformator ist daher bereits seit 2013 in Betrieb, ein Ortsnetzspeicher folgte kurze Zeit später. Ziel des Feldversuches war die Untersuchung des Zusammenspiels verschiedener Spannungshaltungskonzepte im Verteilnetz. Zu diesem Zweck wurden PV-Wechselrichter mit einer Q(U)-Regelung ausgerüstet und ein STATCOM zur Blindleistungsregelung installiert. Darüber hinaus konnte für die Dauer der Versuche ein Einzelstrangregler testweise angeschlossen werden. Um das Netz nicht nur tagsüber durch die PV-Anlagen möglichst stark zu belasten, sondern auch in den Abend- und Nachtstunden die Spannungshaltung untersuchen zu können, wurde eine Schnellladestation für Elektroautos (22 kW) installiert sowie ein stationäres Batteriespeichersystem in Betrieb genommen. Zwei wissenschaftliche Mitarbeiter des elenia waren für die Dauer der Versuche mit einem Messwagen dauerhaft vor Ort und sorgten für einen reibungslosen Ablauf der vielen Einzelversuche.

Verteilt über den betrachteten Netzstrahl wurden insgesamt 9 Messpunkte eingerichtet (siehe Abbildung 12). Mit einer Aufzeichnungsrate von mindestens einem Messwert pro Sekunde und der Möglichkeit der Aufzeichnung eines hochaufgelösten Störschriebs konnten auch schnelle Vorgänge im Netz erfasst werden. Des Weiteren konnten verschiedene Reglerparameter für die betrachteten Spannungshaltungskonzepte, sowohl einzeln als auch in Kombination, getestet werden. Bewusst wurden dabei auch praxisferne Parameter eingestellt. Mit dem Feldversuch konnten bisherige Simulationsergebnisse und Laborerprobungen bestätigt werden. Auch bei einer großen Anzahl an lokal arbeitenden Spannungsreglern konnten keine Instabilitäten gezeigt werden. Aus den Messergebnissen können nun Schlüsse hinsichtlich einer sinnvollen und praxistauglichen Parametrierung der einzelnen Regler gezogen werden. Damit kann ein wertvoller Beitrag für die zukünftigen Anforderungen an die statische Spannungshaltung in der Neufassung der VDE-AR-N 4105 geleistet werden.

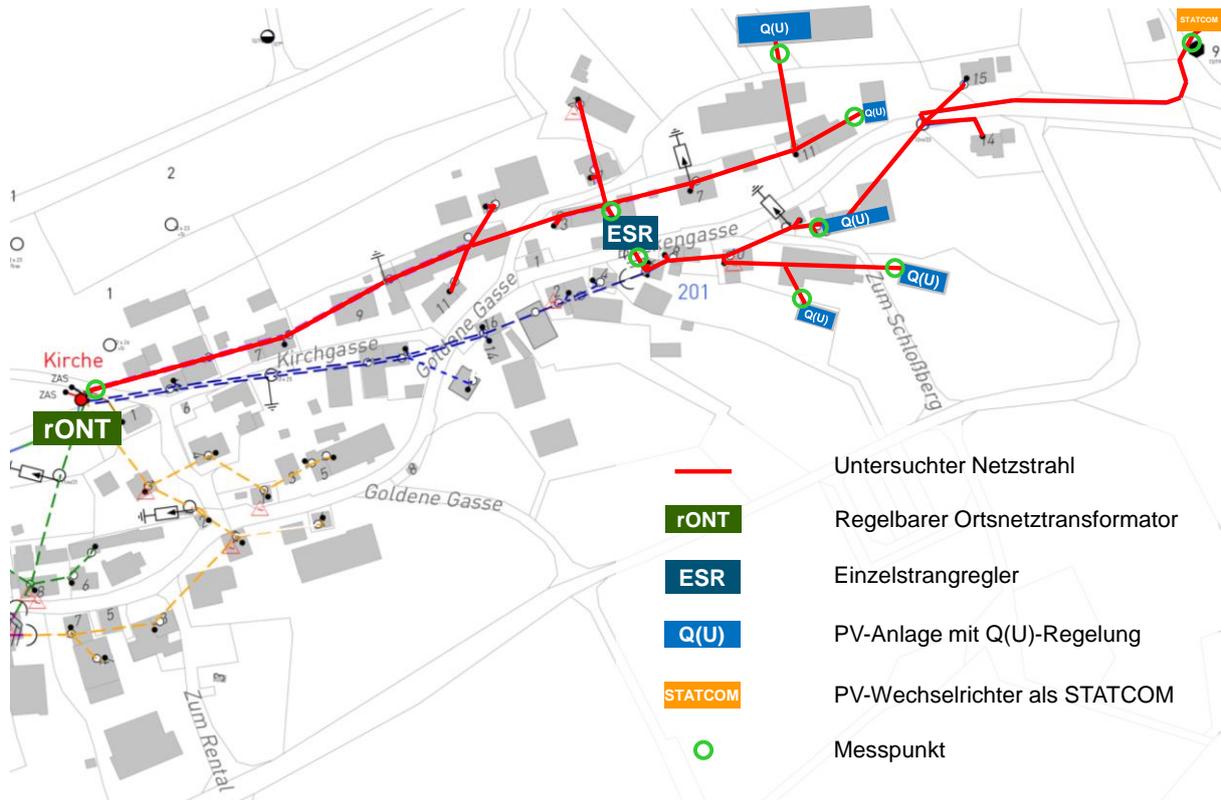


Abbildung 12: Feldtestgebiet „NETZlabor Sonderbuch“ mit untersuchtem Niederspannungs-Netzstrahl

Figure 12: Field test-area “NETZlabor Sonderbuch” and measured feeder

### New concepts for voltage stability in low voltage grids in field test

*Ole Marggraf, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow; Jonathan Ries, M.Sc.*

In July and August of 2016, a five-week field test of new concepts for voltage stability in low voltage grids took place in the “NETZlabor Sonderbuch” of the Netze BW GmbH. Sonderbuch is a small village in South Germany. The photovoltaic systems feed in an amount of power that is ten-times higher than the consumption. The consequence is problems in voltage stability. The field test is part of the research-project U-Control. The aim of this test is the investigation of robustness, stability, and effectivity of existing concepts for voltage stability in low voltage grids. Despite numerous trials with various different voltage regulation concepts, no sign of instability was found. The results of the field test are helpful for the preparation of the VDE-AR-N 4105.

## Untersuchungen zur Effizienz und Integration dezentraler Energiespeicher

*Hauke Loges, M.Sc.; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

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, welches 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.

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. Exemplarische Messergebnisse werden in Abbildung 13 dargestellt.

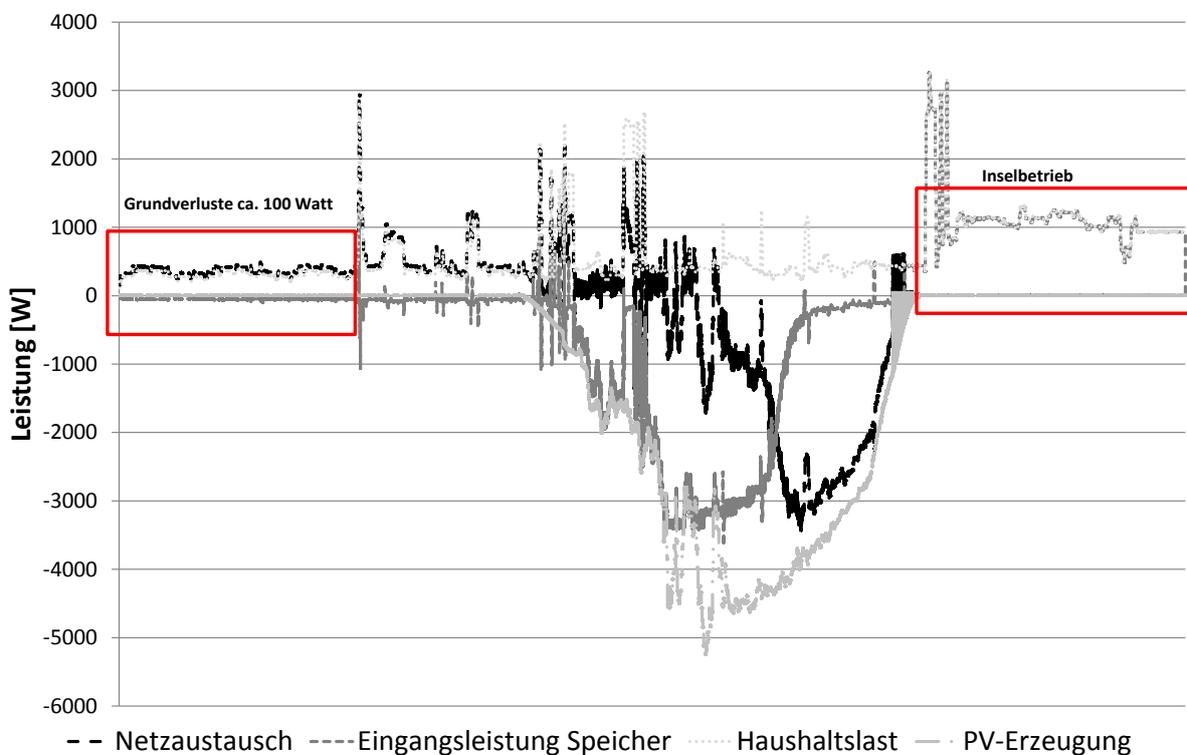


Abbildung 13: Exemplarische Messergebnisse

Figure 13: Exemplary measurement results

Haushaltsspeicher können in Zeiten, in denen sie nicht für den Eigenverbrauch genutzt werden, auch auf den Energiemärkten vermarktet werden. Für die Entwicklung möglicher Energiemärkte und Konzepte für die Betriebsführung wird im Rahmen des Forschungsprojektes green2store 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. Das Gesamtmodell besteht aus einer Datenbank mit den Erzeugungseinheiten und den Zeitreihen. Aus diesen Daten werden Szenarien gebildet, welche im Optimierungsmodell zu einer Einsatzreihenfolge der Erzeugungseinheiten führen (Abbildung 14).

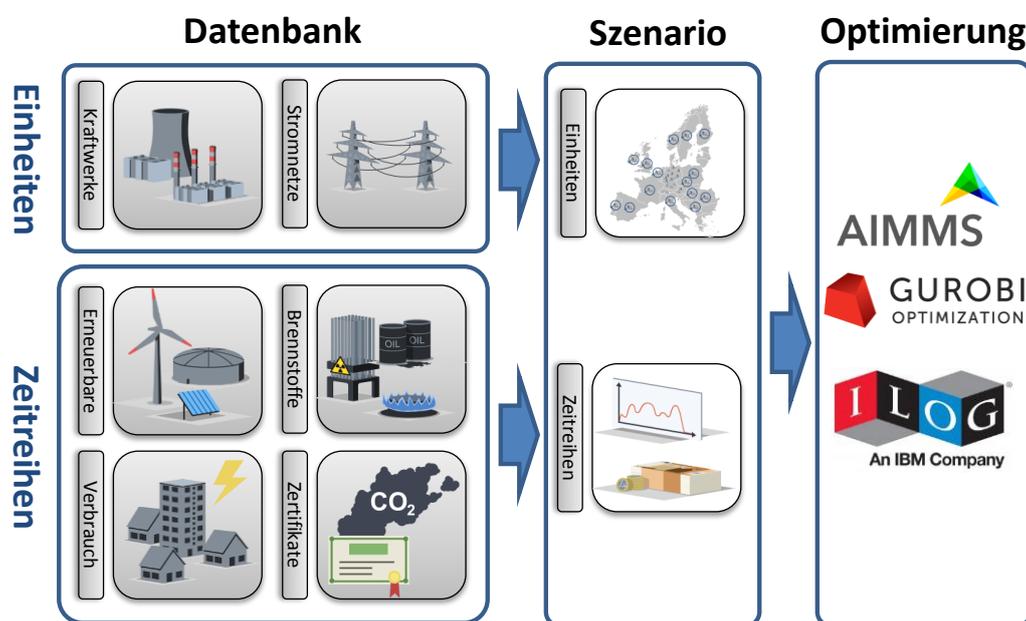


Abbildung 14: Darstellung des Gesamtmodells für die Optimierung von Einsatzszenarien

Figure 14: Structure of the overall model for the optimization of application scenarios

### Examination for efficiency and integration of decentralized energy storages

*Hauke Loges, M.Sc.; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Unger*

The importance of storing photovoltaic electricity, generated by residential buildings, has increased in recent years. The current, guaranteed rate for fed in photovoltaic electricity is lower than the electricity price (grid parity). Thus, self-consumption is more profitable than injecting the power into the grid. Using batteries can increase the amount of self-consumed energy significantly. Generally, electrical consumers are labeled with an environmental label, indicating the energy-efficiency. However, there are no labels for batteries so far. Furthermore, manufacturers do not tend to label their products transparently. Therefore, comprehensive measurements with accessible residential storage systems have been carried out, in order to deter-

mine the efficiency of a product and develop a label for battery storage systems. Extracts from the results are shown in Figure 13.

In addition to the primary purpose of residential storages, the maximization of the self-consumption, the storages can be applied for participating at energy markets. The ongoing investigation shall reveal concepts and recommendations for maintaining the system stability at all times, using decentralized storages. Though these batteries are too small to participate at the market properly, they can be interconnected by means of a virtual power plant, also called Energy Storage Cloud. The Energy Storage Cloud resembles all the aggregated battery units in the market model. Combined with a highly accurate database for generation units, the cloud storages are simulated in a linear programming model (Figure 14).

### **Simultane Mehrfachnutzung von PV-Speichersystemen**

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck; Florian Schilling, M.Sc.; Frank Soyck, M.Eng.*

Zurzeit werden Tausende von PV-Anlagen durch Batteriespeicher ergänzt, um die Eigenverbrauchsquote zu erhöhen. Diese Speicher werden nur für einen kleinen Teil der Zeit vollständig genutzt. Zusätzliche Einnahmen könnten durch die Öffnung dieser Speicher für Dritte (Energiehändler, Bilanzkreisverantwortliche oder Betreiber Virtueller Kraftwerke) in der verbleibenden Zeit erzielt werden. Diese simultane Mehrfachnutzung des Speichersystems durch mehrere Nutzer wird die Markt- und Systemintegration dezentraler PV-Speichersysteme verbessern. Um eine simultane Mehrfachnutzung der Speichersysteme zu ermöglichen, ist ein geeignetes Messkonzept erforderlich, das alle für die Abrechnung relevanten Energieflüsse separat misst. Im Rahmen des Projekts PV-Speicherzähler wird untersucht, wie Speicher simultan mehreren Parteien zur Verfügung gestellt werden können, einschließlich korrekter Messung und Abrechnung. Das Projekt begann im Jahr 2014 und grundlegende Überlegungen sind abgeschlossen. Die Laborumgebung ist aufgebaut und der erste Test beendet. Diese Arbeit konzentriert sich zurzeit auf die Realisierung und Validierung des Messkonzepts im Laborumfeld.

Abbildung 15 zeigt den schematischen Laboraufbau. Der Energiezähler Z3 misst den gesamten Energiefluss und der Energiezähler Z2 misst die Energie bei der Be- und Entladung des Batteriesystems. Das Energiemanagementsystem (EMS) ist ein wichtiger Bestandteil des Messkonzeptes. Es stellt die Algorithmen für die Speicherbetriebsmodi bereit. Zusätzlich gibt das EMS die Lade- bzw. Entladeleistung für den Batteriespeicher vor und berücksichtigt dabei die Anforderungen des Anlagenbetreibers und den Fahrplan eines dritten Akteurs (Energiehändler, Bilanzkreisverantwortliche oder Betreiber virtueller Kraftwerke).

Die Testumgebung besteht aus der Hardware-Simulation der benötigten Komponenten. Die PV-Anlage wird durch eine Gleichstromquelle und einen dreiphasigen PV-Wechselrichter realisiert. Die Haushaltslast erfolgt durch eine elektronische Last und synthetische Lastprofile.

Das Batteriesystem wird mit einem modularen Speichersystem mit einer Gesamtkapazität von 18 kWh und drei einphasigen Batteriewechselrichtern verwirklicht.

Die Prüfung und Validierung der simultanen Mehrfachnutzung von PV-Speichersystemen ist ein Meilenstein auf dem Weg zur Netzintegration von dezentralen PV-Speichersystemen. Nach erfolgreichen Labortests wird ein Feldtest folgen.

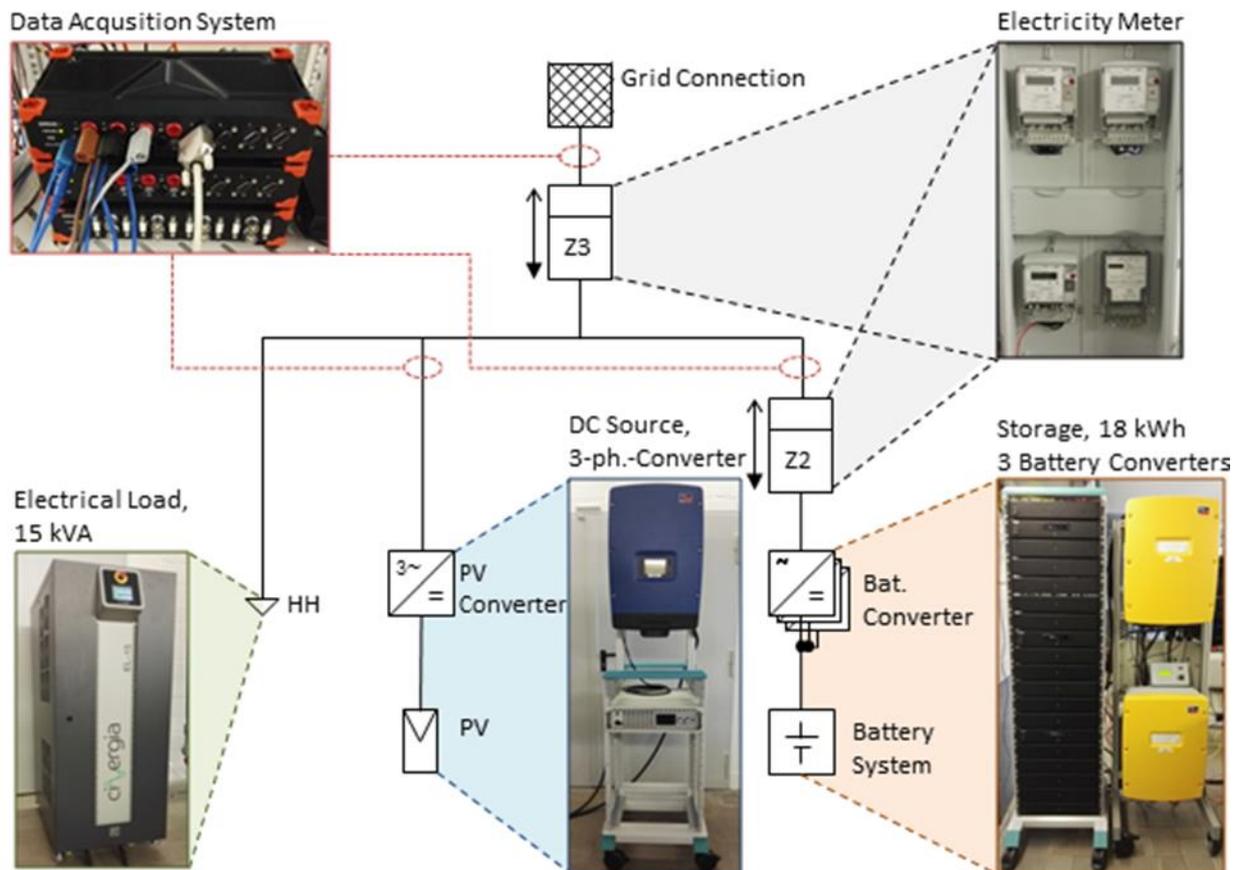


Abbildung 15: Struktur des Laboraufbaus im elenia energy labs

Figure 15: Structure of the laboratory in the elenia energy labs

### Simultaneous Multiple Use of PV Storage Systems

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck; Florian Schilling, M.Sc.; Frank Soyck, M.Eng.*

Currently, thousands of PV systems are complemented by storage units, in order to increase the self-consumption rate. These storage units are seldom used to their full capacity. Additional revenue could be made by opening the storage system to third parties (energy traders, balancing group manager or operator of virtual power plants) in the remaining time. The multiple use of the storage system by numerous parties will improve the market and system integration of distributed PV storage systems.

The main goal of the research project PV-Speicherzähler is to investigate how storage units can be made available to multiple parties simultaneously, including correct metering and billing. The project started in 2014 and basic considerations are finished. The laboratory environment is set up and first test are completed.

The current work focuses on the realization and validation of the metering concept in the laboratory environment. The laboratory environment consists of the parts measurement, energy management system (EMS) and a testing environment. Figure 15 shows the structure of the laboratory set-up. The electricity meter Z3 measures the total energy flow and the electricity meter Z2 measures the energy that flows into and out of the battery system.

The EMS is an important part of the metering concept. It provides the algorithms for the storage operation modes. In addition, the EMS sets the battery power to a calculated set point, considering the specifications by the third party user and by the operator of the battery.

The testing environment consists of the hardware simulation of the needed components. The PV system is implemented by a DC source and a three-phase PV converter. The household load is implemented by an electronic load and synthetic household load profiles. The storage unit is realized with a storage system with a capacity of 18 kWh. The battery converters are three single-phase battery converters.

The testing and validation of simultaneous multiple use of PV storage systems is a milestone on the way to grid integration of distributed PV storage systems. A field case study will be carried out after successful testing in the laboratory environment.

### **Energiemanagement im Umfeld vernetzter Wohngebäude**

*Stephan Diekmann, M.Sc.; Dipl.-Ing. Stefanie Koch; Christian Reinhold, 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% am Primärenergieverbrauch vorgesehen. Diese grundlegenden Veränderungen bei der Erzeugung und Bereitstellung elektrischer Energie machen einen Paradigmenwechsel notwendig. Die Last muss zukünftig verstärkt der zunehmend volatilen Erzeugungssituation angepasst werden.

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. Skaleneffekte und Gleichzeitigkeitsfaktoren bei der Berücksichtigung von Mehrfamilienhäusern und Quartieren bieten dabei besondere Potenziale.

Unterschiedliche Erzeuger, Speicher und Verbraucher werden im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte hinsichtlich ihrer Anbindung an die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), Steuerbarkeit und Synergieeffekten betrachtet (vgl. Abbildung 16). Der Be-

trachtungshorizont reicht von Aspekten wie der Eigenverbrauchsmaximierung oder Energiekostenreduktion sowie weiteren Optimierungszielen über Steuerungs- und Anwendungsszenarien bis hin zur Kopplung der Sektoren Strom und Wärme. Es werden einzelne Komponenten wie auch deren Verbund in ihren Eigenschaften und Funktionsweisen nachgebildet, rechnergestützt simuliert und in Laborumgebungen real betrachtet. Auch Komfortaspekte und Nutzerverhalten sowie Nutzersensibilisierung finden dabei Berücksichtigung.

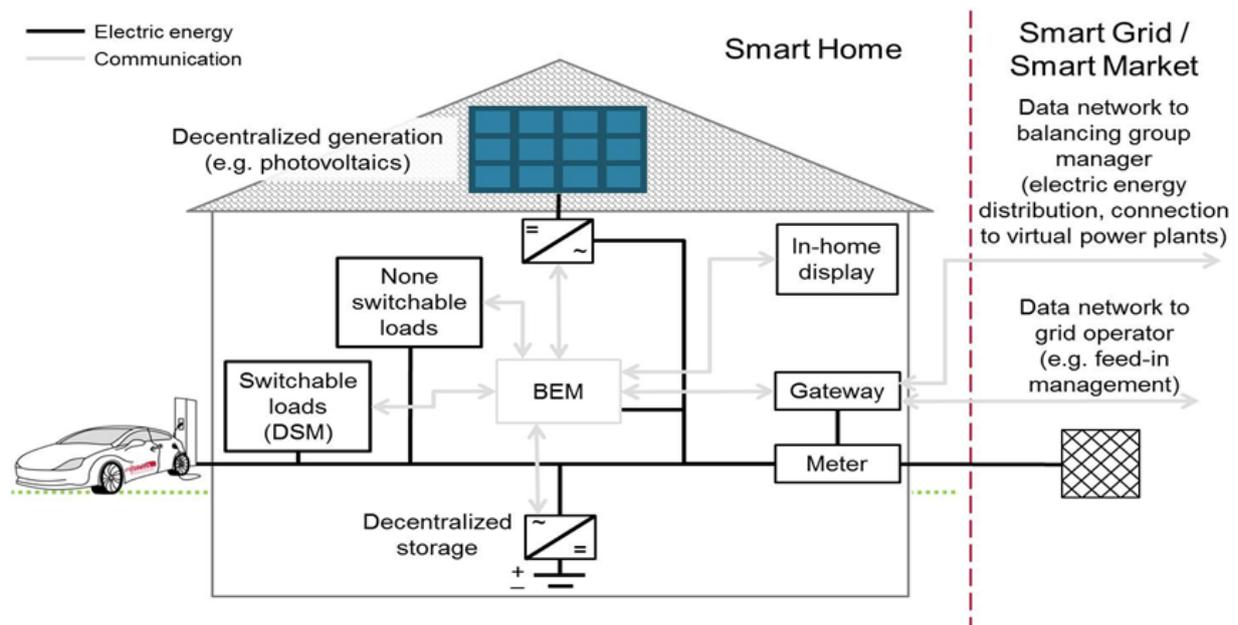


Abbildung 16: Struktureller Aufbau des Managementsystems

Figure 16: Structure of the management system

Im Rahmen des Forschungsprojektes BASIS (Building Automation durch ein Intelligentes Skalierbares System) ist ein Sechs-Parteien Mehrfamilienhaus der Nibelungen Wohnbau mit rund 800 Sensoren und Aktoren ausgestattet worden. Aktuell wird das Gebäude schrittweise mit Intelligenz ausgestattet. Darüber hinaus werden die Auswirkungen netzdienlich betriebener abschaltbarer Lasten wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge sowie von Batteriespeichern in stark dominierten Photovoltaik-Netzgebieten unter netztechnischer Sicht untersucht und bewertet. Zudem werden wirtschaftliche Fragestellungen bearbeitet, aktuelle regulatorische Hemmnisse aufgezeigt und Empfehlungen für einen ganzheitlichen, energieeffizienten Netzbetrieb ausgesprochen.

Das niedersächsische Verbundprojekt NEDS – Nachhaltige Energieversorgung Niedersachsen entwickelt und überprüft Szenarien einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung für Niedersachsen ebenso wie die Bestimmung von optimalen technologischen Umsetzungspfaden zur Erreichung dieser Zielvorgabe unter Nachhaltigkeitskriterien. In Hinblick auf ein zukünftiges Smart Grid und eine damit einhergehende, nachhaltige Energieversorgung in Nie-

dersachsen erfolgt dazu die techno-ökonomische Betrachtung auf der Ebene der Hausanschlüsse.

### **Energy management in the field of smart buildings**

*Stephan Diekmann, M.Sc.; Dipl. Ing. Stefanie Koch; Christian Reinhold, 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 is necessary. In the future, the load has to be adapted to the increasingly volatile production situation. Information and communication technologies (ICT) form a key factor in the harmonization of production and consumption.

In terms of Smart Grids, it is essential to operate energy management using intelligent interconnection on all network levels. Thus, the security of the energy supply is maximized and simultaneously the need for expansion of the power grid is minimized. Even at 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 for several research projects in terms of their ICT connectivity and controllability (Figure 16). The test conditions range from aspects such as self-consumption maximization, energy cost reduction, and other optimization goals, over communication channels, protocol versions, and associated data sets up, to control and application scenarios. Individual components and their interconnection are considered.

### **Frequenzhaltung in umrichterprägten Energienetzen**

*Stefan Laudahn, M.Sc.; Björn Osterkamp, M.Sc.; Julia Seidel, M.Sc.*

Im Zuge der Energiewende im Stromsektor werden die installierten Leistungen erneuerbarer, dezentraler Erzeugungsanlagen weiter zunehmen. Im Fokus liegen hierbei Photovoltaik-(PV) und Windenergieanlagen als fluktuierende Erzeuger, sowie Batteriespeicher unterschiedlicher Leistungsklassen als neue Komponenten in der Energieversorgung.

Der wesentliche Unterschied zu konventionellen Kraftwerken liegt zumeist in der Anbindung über leistungselektronisch gesteuerte Umrichter anstelle von Synchrongeneratoren. Viele Aufgaben zur Gewährleistung der Systemstabilität, z.B. die Frequenzhaltung, sind auf die Eigenschaften dieser rotierenden Massen ausgelegt und müssen zukünftig auf Umrichter gesteuerte Anlagen übertragen werden, um zum Gelingen der Energiewende beizutragen.

Zur Vermeidung von Störfällen bei Überfrequenz werden die in heutigen Anlagen verbauten stromeinprägenden Wechselrichter bereits dazu verwendet, die Netzfrequenz mit einer implementierten, frequenzabhängigen Wirkleistungsregelung zu stützen. Die Bereitstellung von

Regelleistung ist aus technischer Sicht ebenfalls umsetzbar, jedoch sind die Rahmenbedingungen des Marktes noch nicht für eine Teilnahme fluktuierender Erzeuger ausgelegt. Diese befinden sich noch in der Diskussion zwischen Netzbetreibern, Industrie und Wissenschaft. Spannungseinprägende Wechselrichter, die zum jetzigen Zeitpunkt hauptsächlich für Anwendungen in Inselnetzen installiert werden, sind hingegen sogar in der Lage einer Frequenzänderung unmittelbar entgegen zu wirken. Diese Regelung kann die zurzeit von Synchrongeneratoren intrinsisch bereitgestellte Momentanreserve durch ihre rotierenden Massen unterstützen. Labormessungen in den elenia energy labs zeigen diese Funktionalitäten in Abbildung 17.

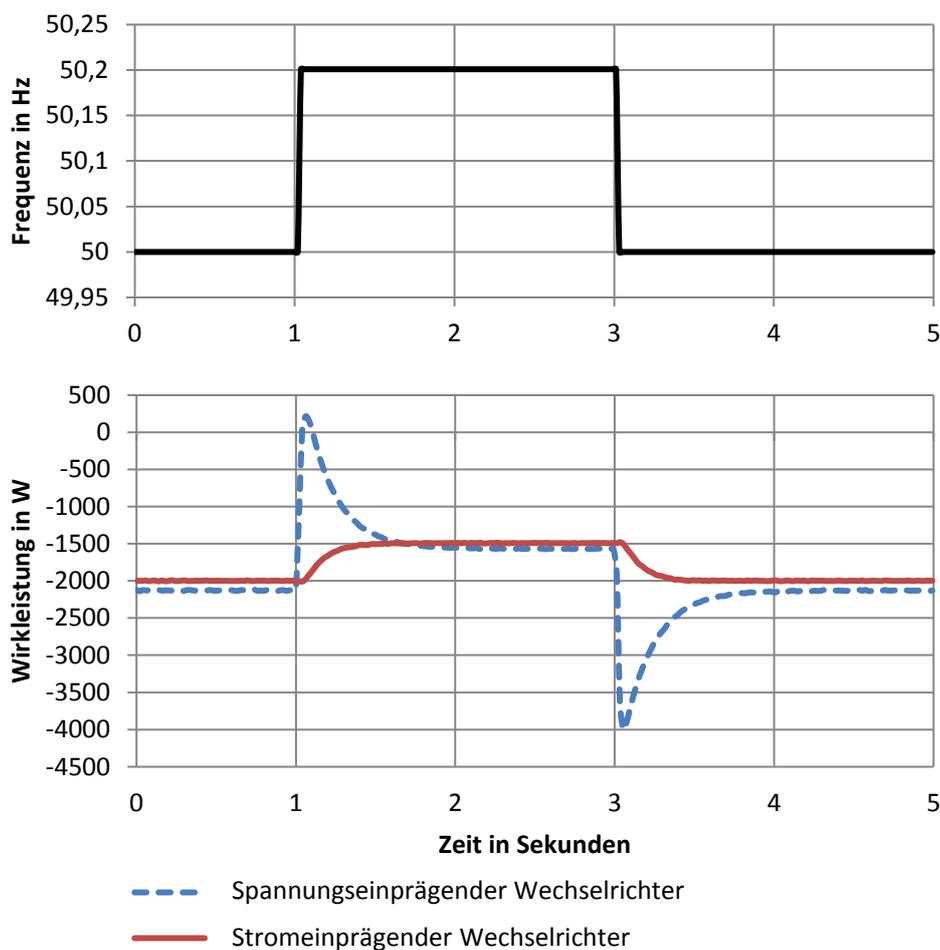


Abbildung 17: Reaktionen eines spannungs- und stromeinprägenden Wechselrichters auf einen Frequenzsprung

Figure 17: Response of voltage control mode and current control mode inverters on a frequency step

Während spannungseinprägende Wechselrichter auf eine Frequenzänderung unverzüglich reagieren, antworten stromeinprägende Wechselrichter leicht verzögert und sind damit für eine Primärregelung geeignet. Durch die Einbeziehung dieser Eigenschaften kann die konventionelle Mindesterzeugung in Deutschland weiter reduziert werden. Dieses Beispiel zeigt, wie

neuartige Betriebsmittel die Versorgungssicherheit und Zuverlässigkeit auch bei einem 100%-Erneuerbare-Energien-Szenario gewährleisten können.

### **Frequency stability in inverter dominated electricity grids**

*Stefan Laudahn, M.Sc.; Björn Osterkamp, M.Sc.; Julia Seidel, M.Sc.*

Over the course of the next years, the installed capacity of renewable, distributed energy resources will further increase, mainly due to photovoltaic (PV) systems, wind parks and battery storages. A significant distinction to conventional power plants is the use of power electronics, i.e. inverters, instead of synchronous generators. Therefore, tasks for ensuring system stability, like frequency control, need to be transferred to inverter-based generation.

A frequency-depending active power reduction is already implemented in state-of-the-art PV inverters, in order to avoid incidents due to over-frequency. These control mode inverters are also able to provide control reserve. However, the market conditions are not designed for a participation in fluctuating energies, as they are still in debate between system operators, industry and science.

Voltage control mode inverters, being mainly installed in stand-alone systems, are even able to react instantaneously to a frequency change. The intrinsically provided inertia by synchronous generators with their rotating masses can thus be supported by this type of control algorithm.

Measurements in the elenia energy labs are showing these functionalities in Figure 17. Voltage control mode inverters react instantaneously on a frequency step whereas current control mode inverters respond slightly delayed and are therefore convenient for primary control reserve. Integrating these features of inverters, the must-run capacity in Germany can further be reduced. This example shows that distributed energy resources are also able to ensure security of supply and reliability with an energy system based on 100% renewables.

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

*Hartmudt Köppe, M.Sc.; Fridolin Muuß, 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. Infolgedessen kommt es zu einer Reduktion steuerbarer und beeinflussbarer Kraftwerkskapazitäten und damit zu einer Minderung der Kapazitäten für Regel- und Blind-

leistung 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.

**PV-Wind-Symbiose: 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.; Fridolin Muuß, M.Sc.*

The German electricity system is heavily transformed as a result of the increasing share of renewable energies. Due to this transformation, the market situation of great power plants is negatively influenced and thus, becoming more and more uneconomical. The result is the decreasing of controllable and suggestible power capacity. 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, as well as coil and capacitor banks. An alternative to these, on occasion, expensive techniques is the provision by power electronics. This technique 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. Thereby, a dynamic reactive power feeding is possible. Further, ongoing, extensive research on the efficient implementation is required. Thus, the research project PV-Wind-Symbiosis (photovoltaic wind symbiosis) was founded. The aim of the project is to develop innovative concepts in order to make use of synergy effects of photovoltaic systems and wind turbines.

### 3.4 Dissertationen – Dissertations

#### **Zustandsdiagnose und Modellbildung von Lithium-Ion Batteriesystemen zur Weiterverwendung in der Energieversorgung**

Tag der Prüfung: 28.04.2016

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders

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

Das Energiekonzept der Bundesregierung Deutschland für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung setzt hohe Ziele an den Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor. Ein wichtiger Baustein zur Erreichung dieser Ziele ist die Schaffung von Kapazitäten zur Verlagerung und Speicherung von fluktuierend erzeugtem Strom. Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Energiekonzeptes ist die Verbrauchsreduzierung im Sektor „Verkehr“, zu dessen Erreichung eine konsequente Einführung hoch effizienter, elektrisch angetriebener Fahrzeuge beitragen soll. Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Zustandsdiagnose und Modellbildung von Lithium-Ionen Batteriesystemen zur Weiterverwendung in der Energieversorgung“ greift in diesem hoch dynamischen Umfeld die Fragestellung auf, wie die in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen vorhandenen Batteriespeicher zum Aufbau von Speicherkapazitäten in der elektrischen Energieversorgung beitragen können.

Zu diesem Zweck wird zunächst eine szenarienbasierte Prognose der Rücklaufmengen an Batteriespeichern aus Elektrofahrzeugen aufgestellt und mit dem Bedarf an Energiespeichern in der Energieversorgung verglichen. Auf Grund der hohen Bandbreite an Belastungen eines Batteriespeichers in einem Elektrofahrzeug durch z.B. unterschiedliches Fahr- und Ladeverhalten und regional bedingte Temperaturdifferenzen, ist es ein erstes Ziel dieser Arbeit ein Verfahren zur Zustandsdiagnose zu entwickeln. Dieses Verfahren bildet die Grundlage, rücklaufende Batteriezellen zu gruppieren und eine Grundlage für die Auswahl von Zellen für eine weitere Untersuchung zu schaffen. Um die weitere Lebensdauer eines Batteriespeichers in unterschiedlichen Anwendungen der Energieversorgung bewerten zu können wird ein Simulationsmodell aufgebaut und mit einer empirischen Untersuchung von Zellen parametrisiert.

Abschließend wird dieses Simulationsmodell eingesetzt um die Weiterverwendung von Batteriespeichern in Haushalten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von Photovoltaik-Anlagen zu simulieren. Der Fokus liegt dabei auf dem Einfluss unterschiedlicher Lastprofile der betrachteten Haushalte auf die zu erwartende Zweitnutzungsdauer. Das Verfahren hilft, den möglichen Beitrag von weiterverwendeten Batteriespeichern zur Erreichung der Ziele des Energiekonzeptes der Bundesregierung für eine umweltschonende, bezahlbare und zuverlässige Energieversorgung zu bestimmen.

## **Current state diagnosis and modelling of Lithium-Ion Batteries for second use in energy storage systems**

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

The concept for an environment-friendly, reliable and affordable energy supply sets high goals for the development of renewable energies in the electricity sector. An important factor for the successful implementation of these goals is the creation of load-shifting and electricity storage capacities. Another important part of the energy concept is the reduction of energy consumption in the traffic sector. In order to achieve this, the introduction of highly efficient, electric powered vehicles is necessary. This work addresses the question how battery storage systems of electric vehicles can help to provide electricity storage capacities for the electricity sector under these highly dynamic boundary conditions.

In order to achieve this, a scenario-based analysis shows the potential of used battery storage systems from electric vehicles and compares it to the projected need of electricity storage capacity in the electricity supply sector. Due to the high variability of stress factors on a battery storage system in an electric vehicle, e.g. different driving and charging profiles and differences in regional temperature profiles, the state of health of battery systems can vary significantly over time. Therefore it is another goal of this work to develop a procedure for the clustering of battery cells in order to choose samples for further investigation and cycling.

Finally, a simulation model is set up in order to analyse the deployment of used energy storage systems in households with photovoltaic generators to raise the self-consumption quota. The parameters for the simulation model are derived from the empirical examination of cells. The main focus of the investigation lies on the influence of different load patterns on the second-use performance.

The result of this work is a method that can be used to analyse the potential of batteries for the deployment in stationary battery systems.

## **Neue Belastungsannahmen für Haushaltskunden und deren Beitrag zur Planung von Verteilungsnetzen mit hohem Anteil an dezentraler Erzeugung**

Tag der Prüfung: 05.07.2016

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Finkel, MBA

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz

*Michael Lorenz Wiest, M.Sc.*

Für das Gelingen der Energiewende in Deutschland sind Anpassungen im gesamten Energieversorgungssystem notwendig. Im Bereich der Energieerzeugung ist die Transformation von konventionellen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energieträgern bereits in vollem Gange.

Bei der Übertragung und Verteilung der Energie hingegen stehen die Netzbetreiber noch vor großen Herausforderungen, die sich durch den Wandel im Energieversorgungssystem in einem regulierten Strommarkt ergeben. Die Herausforderungen im Bereich der Energieverteilung stellen die Grundlage dieser Arbeit dar.

Die Analyse von Planungsmethoden zeigt, dass eine Kernaufgabe bei der Netzplanung ist die Bestimmung der Auslastung der Netze. Aufbauend auf der Analyse von derzeit aktuellen Verfahren zur Belastungsbestimmung werden angepasste Kennzahlen entwickelt, die auf hoch aufgelösten Messdaten basieren. Der Spitzenlastanteil von Verbrauchern und Erzeugungsanlagen sowie die den Erzeugungsanlagen anrechenbare Verbraucherlast sind dabei besondere Schwerpunkte. Zudem wird die Netzbelastung von Verbrauchern und Erzeugern auf die bezogene Energiemenge zurückgeführt und durch einen funktionalen Zusammenhang beschrieben, was einen deutlichen Vorteil gegenüber bisherigen Methoden birgt.

Neue technologische Konzepte werden im Verbraucherbereich in Kombination mit dezentraler Erzeugung hinsichtlich der Netzbelastung untersucht. Anhand von Referenzhaushalten wird nachgewiesen, dass die Netzbelastung durch die Installation kleiner PV-Anlagen abnimmt, bei größeren Anlagenleistungen allerdings eine deutliche Mehrbelastung der Netze auftritt. Im Verteilungsnetzbereich wird die Netzbelastung hinsichtlich der Netzoptimierung untersucht. Zur Beurteilung innovativer Technologien, wie dem regelbaren Ortsnetztransformator oder der Blindleistungsbereitstellung, werden verschiedene Methoden gegenübergestellt und bezüglich ihrer Wirksamkeit analysiert und diskutiert. Die daraus resultierende Kriterien Matrix ist bezüglich der Netzplanung als richtungsweisend anzusehen.

Zur Bewertung einer Vielzahl von Niederspannungsnetzen wird ein Verfahren vorgestellt, das es ermöglicht die Netzsituation anhand einfacher Daten zu analysieren und die Netze in Klassen zusammenzufassen. Durch diesen übergreifenden Ansatz wird eine Einzelfalluntersuchung der Netze hinfällig. Für einzelne Ortsnetze kann anhand der entwickelten Zusammenhänge der Auslastungszustand ermittelt werden. Netzbetreibern wird so ein Einblick in die gesamte Netzsituation ermöglicht.

### **New load assumptions for household customers and their contribution to the planning of distribution networks with a high proportion of distributed power generation**

*Michael Lorenz Wiest, M.Sc.*

In order to guarantee a successful energy transition towards renewable energy in Germany, adjustments throughout the energy system are necessary. In the field of generation, the transformation from conventional energy sources towards renewable energy sources is well underway. In terms of the transmission and distribution of energy, however, network operators in the liberalised electricity market are still facing major challenges with the changes in the energy supply system. Challenges in the energy distribution form the basis of this work.

Determining the network utilisation is one of the core tasks of network planning, as the analysis of planning methods shows. Based on the study of present methods for determining the network loading, adapted indicators are developed based on high-resolution measurement data. Thereby, peak load and creditable customer load are of particular interest. In addition, the network load of customers and decentralised generators are attributed to the energy consumption, which entails a significant advantage over present methods.

New technology concepts in the consumer area are investigated, in combination with distributed generation in terms of network load. On the basis of reference households, it is shown that the network load by installing smaller PV systems is decreased; however, by installing PV systems with higher rated power, a significant additional load on the network occurs. In the distribution network sector, network load is examined in terms of network optimization. In order to evaluate innovative technologies, such as the regulated secondary transformer or the reactive power supply, various methods are compared and discussed with respect to their effectivity. The resulting criteria matrix is to be considered as a guideline for the network planning process.

Pertaining to assess a variety of low-voltage networks, an approach is presented which allows analysing the whole network environment via available data and thus, categorising the networks. This replaces a case-by-case assessment of networks by a comprehensive approach. In this way, distribution system operators benefit from a more precise insight into the entire network environment.

### **Bestimmung der Potentiale von Elektrofahrzeugen für V2G-Anwendungen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten im Nutzerverhalten**

Tag der Prüfung: 01.07.2016

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Sonnenschein

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. Markus Henke

*Dipl.-Phys. Mathias Kammerlocher*

In der vorliegenden Arbeit wird die Frage behandelt, wie groß das Potential von Elektrofahrzeugen für Vehicle-to-Grid-Anwendungen zur Unterstützung des Stromnetzes ist. Die Frage ist von großem Interesse, weil das Stromnetz im Zuge der „Energiewende“ zusätzliche Flexibilität benötigt, um den steigenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Erzeugungsanlagen und den Verbrauch auszugleichen. Elektrofahrzeuge können hierbei aufgrund ihres Batteriespeichers eine Schlüsselrolle einnehmen. Zur Analyse des Potentials von Elektrofahrzeuge für Vehicle-to-Grid-Anwendungen wird ein Simulationsmodell präsentiert, welches auf empirischen Daten aus einem Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen aufbaut und erstmalig Unsicherheiten im Nutzerverhalten berücksichtigt.

Nach einer ausführlichen Beschreibung der Motivation dieser Arbeit und ihren zentralen Forschungsfragen, wird im zweiten Kapitel gezeigt, wie fluktuierende Stromerzeuger das elektrische Energiesystem verändern und welchen Anteil Elektrofahrzeuge zur Integration der erneuerbaren Energien in das Stromnetz beitragen können. Von zentraler Bedeutung für die intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen ist das Verhalten der Nutzer, da nur dann ein Flexibilitätspotential beim Laden der Elektrofahrzeuge besteht, wenn die Nutzer einen Teil des Batteriespeichers freigeben und ihre Energiebedarfe zum Fahren planen.

Darauf aufbauend wird im dritten Teil der Arbeit anhand von empirischen Daten aus einem einjährigen Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen, das Verhalten der Nutzer im Umgang mit einem System zur intelligenten Netzintegration von Elektrofahrzeugen untersucht. Dabei werden die zentralen Einflussgrößen für das Speicherpotential, wie die Anschlusszeiten der Elektrofahrzeuge und die Einstellungen der Nutzer zur Speicherfreigabe, erörtert. Es wird gezeigt, dass Unsicherheiten im Nutzerverhalten, bezogen auf die Speicherfreigabe für Vehicle-to-Grid-Anwendungen, eine wichtige Rolle spielen und bei der Netzintegration von Elektrofahrzeugen berücksichtigt werden müssen.

Aus den Grundlagen zur Funktionsweise des Energiesystems und den empirischen Ergebnissen zum Nutzerverhalten, werden im vierten Teil dieser Arbeit Anforderungen zur Untersuchung des Vehicle-to-Grid-Potentials abgeleitet. Als Ergebnis stehen Bewertungskriterien zur Verfügung, die eingesetzt werden können, um bestehende Modelle miteinander zu vergleichen. Des Weiteren wird ein Überblick über vorhandene Simulationsmodelle gegeben. Anschließend wird ein eigenes Simulationsmodell vorgestellt, welches auf den zuvor präsentierten empirischen Nutzerdaten aufbaut und, im Gegensatz zu den bestehenden Modellen, Unsicherheiten im Nutzerverhalten berücksichtigt. Außerdem wird eine Optimierungsstrategie zur Teilnahme der Elektrofahrzeuge am Energiemarkt präsentiert, die Prognose, Planung und Regelung der Pool-Leistung beinhaltet.

Zur Untersuchung des Vehicle-to-Grid-Potentials wird im fünften Kapitel auf Grundlage der aktuellen Entwicklungen am Strommarkt und der Fahrzeugtechnologie ein Szenario für das Jahr 2025 hergeleitet. Dieses Szenario beinhaltet auf der Seite des Strommarktes dynamische Stromtarife und veränderte Ausschreibungsbedingungen für Regelleistung. Auf der Seite der Fahrzeugtechnologie wird eine vergrößerte Batteriekapazität, eine bidirektionale Ladestation und eine Optimierung der Ladeleistung durch einen Aggregator angenommen.

Auf Basis dieses Szenarios und des entworfenen Simulationsmodells, wird im letzten Kapitel das Potential von Elektrofahrzeugen für Vehicle-to-Grid-Anwendungen, am Beispiel der Bereitstellung von Sekundärregelleistung, diskutiert. Hier wird gezeigt, wie viel Leistung ein Pool von Elektrofahrzeugen bereitstellen kann und welchen Einfluss Unsicherheiten im Nutzerverhalten auf das Potential haben. Insbesondere beim Ausgleich von Unsicherheiten im Nutzerverhalten kommt der bidirektionalen Lademöglichkeit eine besondere Rolle zu. Des Weiteren stellt der kurzfristige Intraday-Handel ein wichtiges Instrument zum Ausgleich von Prognoseungenauigkeiten dar. Insgesamt wird demonstriert welchen Mehrwert Elektrofahr-

zeuge für das Stromnetz darstellen können und welche Aspekte bei einer intelligenten Lade-strategie berücksichtigt werden müssen.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse. Im Anhang finden sich vertiefende Erläuterungen zu dynamischen Regelungsmethoden und der Funktionsweise und Alterung von Lithium-Ionen-Batterien. Diese Erkenntnisse können zur Anpassung der beschriebenen Modelle für weitere Anwendungen genutzt werden.

### **Determination of potentials of electric vehicles for V2G applications considering uncertainties in user behaviour**

*Dipl.-Phys. Mathias Kammerlocher*

This thesis examines the potential of electric vehicles to support the power grid by vehicle-to-grid-services. Intelligent charging strategies for electric vehicles have obtained much interest over the last decade, due to their potential to support the power grid. In particular, load shifting can decrease charging cost, and support the integration of renewable energy sources into the electricity system. Furthermore, ancillary services delivered by electric vehicles can balance short term variations of demand and supply in the electricity grid. In order to analyse the potential of electric vehicles for vehicle-to-grid services, a dynamic simulation model is introduced. This model is based on empirical fleet test data, including, for the first time, uncertainties in user behaviour.

After a detailed introduction, in chapter two the basic principles of the energy sector and the influence of intermittent renewable energy sources are described. Moreover, the framework for the integration of electric vehicles into the power grid is introduced. Within this framework, the potential of electric vehicles for vehicle-to-grid-services depends on the acceptance of the users, as they have to provide a share of their storage capacity for the service by specifying their driving needs. Ultimately, these driving needs define constraints for the charging strategy.

The next chapter presents data about the mobility behaviour and the storage potential, which was gained during a 12-month fleet test with 20 battery electric vehicles equipped with communication technology and bidirectional charging technology for providing ancillary services. In this system, the users had to specify their driving needs via a smartphone app. It is demonstrated that intelligent charging strategies need to consider a high proportion of unpredicted trips and diverse individual mobility behaviours. The obtained results are of particular relevance for the successive analysis of the potential of vehicle-to-grid-services.

Considering the outcome described above, in chapter four criteria for analysing the vehicle-to-grid-potential are defined. Further, a simulation algorithm, which models a large pool of electric vehicles based on the described fleet test data, is presented. In contrast to previous work, this model includes spontaneous driving events and cancelled trips. Therefore, it allows investigation of the influence of uncertainties in user behaviour on the vehicle-to-grid-storage po-

tential. In addition, an aggregator strategy for operating the pool of electric vehicles is introduced.

In the following chapter, future developments in the energy markets and the next generation of electric vehicles are described. Moreover, a scenario for the vehicle-to-grid-integration in the year 2025 is outlined. Main characteristics of this future scenario include larger battery capacities, bidirectional charging technology, and an aggregator coordinating the charging strategy for a pool of electric vehicles.

Finally, the potential of electric vehicles providing ancillary services is examined against the background of possible developments outlined in the scenario 2025. By using the simulation model developed in this thesis, the impact of uncertainties in user behaviour on the vehicle-to-grid-potential is analysed. It will be demonstrated that a pool of electric vehicles qualifies to provide ancillary services with sufficient accuracy and guaranteed delivery by using the aggregator strategy developed within this thesis. Furthermore, the results indicate the importance of short term power trading for the vehicle-to-grid-potential. This is due to the fact that the storage capacity of a pool of electric vehicles is limited, and energy obtained from regulation activity needs to be marketed consequently. Moreover, bidirectional charging technology is an important component regarding the control strategy, as it allows the balancing of spontaneous charging events by discharging of other cars.

## 4 Besondere Ereignisse 2016 – Special Events 2016

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

#### 01.01.

Der Energieforschungsknoten TU Braunschweig wird fortan vom elenia koordiniert  
*Verantwortliche: H. Loges, F. Muuß*

#### 15.01.

Fachvertreterversammlung, TU Braunschweig  
*Sprecher: M. Kurrat; Teilnehmer: B. Engel*

#### 18.01.

DaLion Kick-Off, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

#### 18.-19.01.

16. NFF-Workshop, Wöltingerode  
*Teilnehmer: M. Kurrat, F. Lienesch, J. Mummel, U. Westerhoff*

#### 20.01.

Studienseminar elenia (1/2), Haus der Wissenschaft  
*Teilnehmer: B. Engel, div. Mitarbeiter, Studierende*

#### 21.01.

1. Doktorandentag der Battery LabFactory Braunschweig (BLB), Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik in Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat, K. Kurbach, U. Westerhoff*

#### 22.01.

EFZN Kuratorium, Goslar  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 22.01.

Exkursion zur SMA Solar Technology AG  
*Teilnehmer: B. Engel, J. Seidel, Studierende*



#### 25.01.

Niedersachsen Technikum, elenia  
*Teilnehmer: B. Engel, N. Hill, K. Kurbach, S. Laudahn, J. Seidel, J. Wussow*

#### 26.01.

Mentoring-Treffen, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

#### 26. – 27.01.

Konferenz „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien“, Berlin  
*Teilnehmer: B. Engel, H. Loges, B. Osterkamp, J. Seidel*

**27.01.**

Schwerpunkttag Elektromobilität, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat, Schwerpunkt  
Elektromobilität*



**28.01.**

EFZN Vorstandssitzung, Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**29.01.**

Besichtigung des Steinkohlekraftwerks  
Mehrum (VL Elektrische Energiewirt-  
schaft und Kraftwerke)  
*Teilnehmer: C. Reinhold, H. Waitschat,  
Studierende*

**01.02.**

Vorstandssitzung VDE Bezirksverein  
Braunschweig, VDE BV BS, PTB, Braun-  
schweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**03.02.**

Studienseminar elenia (2/2), Haus der Wis-  
senschaft  
*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**03.02.**

Exkursion zur Nullemissionsfabrik bei der  
Firma SOLVIS  
*Teilnehmer: B. Engel, Studierende*

**04.02.**

Exkursion zur HGÜ-Umrichterstation  
DolWin3, Dörpen  
*Teilnehmer: T. Kopp, C. Schulz, Studie-  
rende*

**05.02.**

Semesterabschlussgrillen, elenia  
*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**05.02.**

Doktorprüfung Thomas Rettenmayer,  
Darmstadt  
*Zweitprüfer: M. Kurrat*

**10.02.**

Workshop „Kommunikation“ für Mitarbei-  
ter aus Technik und Verwaltung, Riddags-  
hausen  
*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, Mitar-  
beiter und ehemalige Mitarbeiter aus  
Technik und Verwaltung*

**11.02.**

Teach4TU Kick-Off, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

**12.02.**

Fachvertreterversammlung, TU Braun-  
schweig  
*Sprecher: M. Kurrat; Teilnehmer: B. Engel*

**15.02.**

Sitzung Energieforschungsknoten Braun-  
schweig  
*Sprecher: M. Kurrat*

**16.02.**

Projekttreffen U-Control bei SMA Solar Technology

*Teilnehmer: B. Engel, S. Laudahn*

**19.02.**

Projekttreffen „Nachhaltige Energieversorgung Niedersachsen- NEDS“ am elenia

*Teilnehmer: B. Engel, C. Reinhold*

**22.02.**

Batteriekolloquium 2016, Braunschweig

*Teilnehmer: K. Kurbach, L. Soleymani*

**23.-24.02.**

13. Symposium für Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Braunschweig

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**24.02.**

Vollversammlung der Battery LabFactory Braunschweig (BLB)

*Teilnehmer: K. Kurbach*

**29.02.**

Strategie-Workshop, in der Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, F. Liensch, E. Wilkening, div. Mitarbeiter*

**02.03.**

Programmausschuss Niedersächsische Energietage 2016 im Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover

*Teilnehmer: B. Engel*

**03.03.**

Wettbewerb Ressourceneffizienz für die Region, Braunschweig Volkswagenhalle

*Teilnehmer B. Engel*

**04.03.**

Erfahrungsaustausch mit Frau Dr. Naspikul Dyussembekova aus Kasachstan, elenia

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**07.03.**

Sitzung FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.03.**

LabView Einführungskurs, Seminarraum elenia

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**09.-11.03.**

31. Symposium Photovoltaische Solarenergie auf Kloster Banz, Bad Staffelstein

*Teilnehmer: B. Engel, H. Loges, B. Osterkamp, J. Seidel*

**10.03.**

EFZN Vorstandssitzung, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14.-15.03.**

Current Zero Club Meeting, Birmingham, UK

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Lindmayer*

**18.03.**

Doktorprüfung Jan-Hendrik Psola, TU Braunschweig

*Zweitprüfer: M. Kurrat*

**21.03.**

Verabschiedung Herr Bernhard Wedler in den Ruhestand

*Teilnehmer: Alle*

**23.03.**

Schwerpunkttag Aktives Verteilnetz, Seminarraum elenia

*Teilnehmer: B. Engel, Schwerpunkt Aktives Verteilnetz*



**01.04.**

Funktionssicherheitstest einer Drohne der Aibotix GmbH im Netzintegrationslabor des elenia

*Teilnehmer: S. Laudahn*

**04.04.**

Sitzung Lenkungskreis Stadt der Zukunft, TU Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**06.-07.04.**

PMO-Workshop, elenia

*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, div. Mitarbeiter*

**06.-08.04.**

Batterieforum Deutschland 2016, Berlin

*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

**08.04.**

Klassentreffen der Ingenieurwissenschaften, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft (BWG)

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**08.04.**

Workshop EFZN-Avacon

*Teilnehmer: B. Engel*

**13.04.**

Berliner Energie-Tage, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**17.04.**

Campuslauf Braunschweig

*Teilnehmer: F. Lobas-Funck, O. Marggraf, B. Osterkamp, T. Runge, U. Westerhoff,*

**18.-19.04**

Isolierstoffkolloquium, Aachen

*Teilnehmer: M. Kurrat, FG Hochspannungstechnik*

**22.04.**

Vorstandssitzung der VDE Stiftung Erwin Marx

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**22.04.**

Vorstandssitzung Forum Netztechnik Netzbetrieb, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**22.04.**

Fachvertreterversammlung, TU Braunschweig

*Sprecher: M. Kurrat; Teilnehmer: B. Engel*

**25.04.**

Vorstandssitzung VDE BV BS, elenia  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**25.-29.04.**

Präsentation von „emilia“ auf der Hannover Messe, Hannover  
*Teilnehmer: J. Wussow*

**26.04.**

3rd Meeting of CrHIVE, elenia  
*Teilnehmer: N. Hill*

**26.04.**

Sitzung Lenkungskreis Stadt der Zukunft, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**26.-27.04.**

Advanced Battery Power 2016, Münster  
*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

**27.-28.04.**

Evaluation des EFZN, Goslar  
*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, H. Loges, F. Muuß*

**28.04.**

Doktorprüfung Hannes Haupt, elenia  
*Erstprüfer: M. Kurrat; Teilnehmer: alle*



**28.04.**

Zukunftstag für Mädchen und Jungen, elenia  
*Teilnehmer: N. Hill, J. Ries, J. Seidel, J. Wussow*

**28.04.**

Treffen mit japanischem Ex-Ministerpräsident Naoto Kan, Kassel  
*Teilnehmer: B. Engel*

**29.04.**

Jahresversammlung BWG  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**05.05. (Christi Himmelfahrt)**

50. Geburtstag B. Engel mit Dampffahrt Rübelandbahn  
*Teilnehmer: B. Engel, div. Mitarbeiter*

**09.05.**

BLB-Strategie-Workshop 2016, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

**11.-12.05.**

Fakultätentag Elektrotechnik Informationstechnik, UniBW München  
*Teilnehmer: B. Engel*

**17.-19.05.**

Pfingstexkursion, Genf  
*Teilnehmer: H. Köppe, T. Kopp, F. Lobas-Funk, S. Wermuth, Studierende*

**18.-19.05**

Göttinger Energietage  
*Teilnehmer: B. Engel, H. Köppe*

**20.05.**

Hochschulinformationstag, TU Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel*

**23.-24.05.**

DFG Konferenz Netze, Heidelberg

*Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat*

**24.05.**

Mobil4e Abschlussveranstaltung, Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik in Braunschweig

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**25.-26.05.**

YoungDocs Workshop, Goslar

*Teilnehmer: M. Kurrat, D. Bösche, H. Köppe, C. Reinhold, C. Schierding*

**26.05.**

Roll-Out LRe16, Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann, U. Westerhoff*

**30.05.**

Fakultätsratssitzung

*Teilnehmer: B. Engel*

**31.5.**

Ringvorlesung, elenia

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**31.5.**

Tag der Lehre, Preisträger für den LehrLeo im Bereich "Beste Übung/Bestes Seminar" für das Projekt "SolarHUB", TU Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel, H. Loges, J. Mummel, U. Westerhoff*



**31.05.-01.06.**

ATZ-Konferenz Netzintegration der Elektromobilität, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**2.-3.06.**

DKE K124 Sitzung, Graz

*Teilnehmer: M. Hilbert*

**06.-09.06**

International Conference on Electrical Contacts – ICEC, Edinburgh

*Teilnehmer: C. Klosinski, T. Kopp, H. Köpf*

**08.06.**

Behördenstaffelmarathon, Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**09.-10.06.**

FNN-Fördererkreis, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**10.06.**

Nachhaltigkeitsworkshop von Lehr-Lern-Konzepten, TU Braunschweig

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**10.06.**

IEC TF121A/WG1-TF PD Sitzung, Frankfurt

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14.06.**

DaLion 1. Industrieworkshop, Architekturvavillion der TU Braunschweig

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

**14.-15.06.**

14. BAM-PTB-Kolloquium zur chemischen und physikalischen Sicherheitstechnik, Berlin

*Teilnehmer: D. Hauck, M. Hilbert, C. Schierding*

**14.-15.06.**

EFZN-Tagung Power to heat, Goslar

*Teilnehmer: B. Engel, S. Koch*

**15.06.**

Besuch von Studierenden der Drive-E-Academy in der BLB, TU Braunschweig

*Teilnehmer: K. Kurbach, J. Seitz, Studierende*

**15.06.**

Energiesparworkshop, Seminarraum elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, div. Mitarbeiter*

**15.06.**

Sitzung Lenkungskreis Stadt der Zukunft, TU Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**16.06.**

Fachforum Elektromobilität und Energiewende, Hannover

*Teilnehmer: T. Dammasch, U. Westerhoff*

**18.06.**

TU Night, Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**20.06.**

Einstand neue AG-Leitung der AG Energiesysteme, Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter der AG Energiesysteme*

**22.06.**

Sitzung FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**22.06.**

Doktorprüfung Peter Esslinger an der TU München

*Zweitprüfer: B. Engel*

**23.06.**

Schwerpunkttag Komponenten der Energieversorgung, elenia

*Teilnehmer: Schwerpunkt Komponenten der Energieversorgung*

**24.06.**

Doktorprüfung Karsten Golde, Darmstadt

*Zweitprüfer: M. Kurrat*

**27.06.**

Beirat Symposium Photovoltaische Solar-  
energie, Hameln

*Teilnehmer: B. Engel*

**28.06.**

Sitzung ETG V2.1/GMA FA 7 Netzrege-  
lung, Frankfurt

*Teilnehmer: B. Engel*

**29.06.**

Jährliche Sicherheitsunterweisung, elenia

*Teilnehmer: alle*

**29.-30.06.**

Exkursion PTJ Jülich und ABB Ratingen  
(VL Hochspannungstechnik 2), Düsseldorf

*Teilnehmer: N. Hill, T. Pieniak, Studieren-  
de*

**30.06.**

Studienseminar elenia (1/2), Haus der Wis-  
senschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**01.07.**

Doktorprüfung Mathias Kammerlocher,  
elenia

*Erstprüfer: M. Kurrat; Teilnehmer: alle*



**05.07.**

Doktorprüfung Michael Wiest, elenia

*Erstprüfer: B. Engel; Teilnehmer: alle*



**05.07.**

PTB-Exkursion (VL Gleichstrom- und  
Speichersysteme), Braunschweig

*Teilnehmer: D. Hauck, Studierende*

**06.07.**

Jubiläumsfeier 25 Jahre OFFIS, Oldenburg

*Teilnehmer: M. Hilbert, C. Reinhold,  
D. Unger*

**08.07.**

2. NFF-Soccer-Cup 2016, TU Braunschweig

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**13.07.**

Besuch BMWi und PTJ zur Besichtigung der BLB und Projektstatus DaLion

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**13.07.**

Studienseminar elenia (1/2), Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: div. Mitarbeiter, Studierende*

**25.07. - 23.08.**

Feldversuch statische Spannungshaltung im Projekt "U-Control", Sonderbuch Zwiefallen (Netze BW)

*Teilnehmer: O. Marggraf, J. Ries*



**26.07.**

Exkursion AUDI-E-Gas Anlage Werlte

*Teilnehmer: S. Koch, EWK- und InES-Studenten*

**26.07.**

Besuch VW Werksleiter internationaler Standorte in der BLB, TU Braunschweig

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**26.-27.07.**

Exposé-Workshop (1/2), PTB

*Teilnehmer: M. Kurrat, div. Mitarbeiter*

**27.07.**

IEC TF121A/WG1-TF PD, Telefonkonferenz

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**01.08.**

Die Festschrift zum 90. Jubiläum der Institutsgründung ist erschienen

*Teilnehmer: alle*

**02. - 05.08.**

AG-Klausur, Oberstdorf

*Teilnehmer: AG Energiesysteme*



**08.08.**

Exposé-Workshop (2/2), elenia

*Teilnehmer: M. Kurrat, div. Mitarbeiter*

**08.-09.08.**

17. NFF-Workshop, Ilsenburg

*Teilnehmer: F. Lienesch, J. Mummel*

**16.08.**

Trauerfeier Prof. Appelrath, Oldenburg

*Teilnehmer: B. Engel*

**18.08.**

Seminar Strommesstechnik, PTB  
*Teilnehmer: D. Bösche, M. Hilbert,  
C. Klosinski, T. Kopp*

**22.-23.08.**

EFZN-Workshop zur Verbundforschung,  
Hildesheim  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Muuß, H. Loges*

**29.08.**

Fleets Go Green Abschlussprojekttreffen  
*Teilnehmer: J. Mummel*

**01.09.**

Institutsworkshop, Braunschweig  
*Teilnehmer: alle*



**22.-23.08.**

EFZN-Workshop zur Verbundforschung,  
Hildesheim  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Muuß, H. Loges*

**05.-06.09.**

Solid Edge Workshop, elenia  
*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**06.09.**

Doktorprüfung Dominik Geibel an der  
Universität Kassel  
*Zweitprüfer: B. Engel*

**07.09.**

European Power Electronics Conference,  
Karlsruhe  
*Teilnehmer: B. Engel*

**08.09.**

Kick-Off OptiZellForm, Aachen  
*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**08.09.**

EFZN Vorstandssitzung, Hannover  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**11.09.**

Beirat Symposium Photovoltaische Solar-  
energie, Bad Staffelstein  
*Teilnehmer: B. Engel*

**11.-16.09.**

GD 2016, Nagoya, Japan  
*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert*

**13.-14.09.**

Kick-Off UPS, Altdorf  
*Teilnehmer: D. Bösche, H. Köpf, C. Ryll,  
E. Wilkening*

**16.-17.09.**

Current Zero Club, Nagoya, Japan  
*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Hilbert*

**18.-23.09.**

ISDEIV, Suzhou, China  
*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, T. Pieni-  
ak*

**19.09**

Fraunhofer ISE-Industriearbeitskreis  
Mittelspannungs-Leistungselektronik, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel*

**20.09.**

Einweihung PV-Anlage, elenia

*Teilnehmer: B. Engel, J. Hesselbach,  
J. Jaspers, K. Rothe, D. Symrek, div. Mitarbeiter*



**20.-21.09.**

Projektabschlussmeeting Green2Store,  
elenia

*Teilnehmer: D. Unger*

**22.-23.09.**

Zukunftsfähige Stromnetze, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, C. Klosinski, B. Osterkamp, L. Soleymani*

**25.-30.09.**

ICLP, Estoril, Portugal

*Teilnehmer: T. Kopp*

**27.09.**

4th Meeting of CrHIVE, Karlsruhe

*Teilnehmer: N. Hill*

**30.09.**

Sitzung FNN Lenkungskreis NS/MS, Berlin

*Teilnehmer: F. Muuß*

**30.09.**

IEC TF121A/WG1-TF PD, Telefonkonferenz

*Teilnehmer: M. Hilbert*

**07.10.**

Energetechnisches Symposium 2016,  
Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: alle*



**12.-15.10.**

Comsol User Conference, München

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, T. Runge*

**13.10.**

Abschlussworkshop „DEA-Stabil“ beim  
Fraunhofer IWES, Fuldataal

*Teilnehmer: B. Engel, S. Laudahn,  
F. Rauscher*

**18.10.**

Projekttreffen PV-Speicherzähler in Kassel  
*Teilnehmer: B. Engel, F. Lobas-Funck,  
F. Schilling, F. Soyck, M. Schmidt*

**19.10.**

Sitzung Lenkungskreis Stadt der Zukunft,  
TU Braunschweig  
*Teilnehmer: H. Loges, F. Muuß*

**19.10.**

Studium Generale, TU Braunschweig  
*Teilnehmer: F. Lobas-Funck, J. Mummel*

**19.10.**

Netzwerk- und Informationsveranstaltung  
des teach4tu-Transferprogramms, TU  
Braunschweig  
*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**21.10.**

Präsentation der elektrotechnischen und  
der mechanischen Werkstatt, elenia  
*Teilnehmer: alle*

**24.10.**

Vorstandssitzung VDE BV BS, PTB  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**24.10.**

NFF-Hauptversammlung, Wolfsburg  
*Teilnehmer: B. Engel*

**26.10.**

Besichtigung VW Batteriefertigung,  
Braunschweig  
*Teilnehmer: Schwerpunkt Elektromobilität*

**26.10.**

Workshop zur Gestaltung des Energiesys-  
tems der Zukunft, Arnsberg  
*Teilnehmer: B. Engel*

**26.-27.10.**

PMO-Workshop mit Fr. Kuhlmei, elenia  
*Teilnehmer: div. Mitarbeiter*

**26.-27.10.**

E-T-A Kolloquium, Altdorf  
*Referenten: M. Hilbert, T. Kopp*

**28.10.**

Energiebeirat KIT, Karlsruhe  
*Teilnehmer: M. Kurrat*

**28.10.**

Absolventenfeier Fakultät 5 (ETIP), TU  
Braunschweig  
*Teilnehmer: B. Engel, M. Hilbert,  
M. Kammerlocher, H. Köpf, C. Reinhold*

**01.-02.11.**

Niedersächsische Energietage, Goslar  
*Teilnehmer: B. Engel, div. Mitarbeiter*

**02.11.**

Vollversammlung der Battery LabFactory  
Braunschweig (BLB)  
*Teilnehmer: K. Kurbach, U. Westerhoff*

**03.11.**

Vorstandssitzung Forum Netztechnik  
Netzbetrieb, Berlin  
*Teilnehmer: B. Engel*

**04.11.**

Fachvertreterversammlung, TU Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**07.-08.11.**

VDE-Kongress 2016

*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann, J. Mummel, C. Reinhold, D. Unger, S. Wermuth*

**07.-08.11.**

Vernetzungskonferenz Elektromobilität 2016, Berlin

*Teilnehmer: U. Westerhoff, J. Wussow*

**08.11.**

DaLion-Statustreffen, Braunschweig

*Teilnehmer: K. Kurbach*

**08.-09.11.**

PV-Regel Konsortialtreffen am elenia

*Teilnehmer: B. Engel, B. Osterkamp, J. Seidel*

**09.11.**

Tagung EnEffCampus 2020, TU Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel, S. Koch, L. Soleymani*

**09.-10.11.**

Workshop Produktionscluster Zellfertigung, Ulm

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**14.-15.11.**

6. Solar Integration Workshop, Wien

*Teilnehmer: B. Engel, S. Laudahn, F. Lobas-Funck, J. Seidel, F. Soyck*

**14.11.**

VDE Hochspannungstechnik –Sitzungen ETG-Fachbereich Q2 (Werkstoffe, Isoliertesysteme, Diagnostik), Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**14.-16.11.**

VDE Hochspannungstechnik, Berlin

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

**16.11.**

Jahreshauptversammlung VDE BV BS

*Teilnehmer: M. Kurrat, div. Mitarbeiter*

**16.11.**

InnoBrunch, TU Braunschweig

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**17.11.**

Eröffnung des BASIS-Hauses, Braunschweig

*Teilnehmer: B. Engel, S. Diekmann*



**17.11.**

Diskussion Intelligente Messsysteme –  
Fluch oder Segen?, Haus der Wissenschaft

*Teilnehmer: B. Engel*

**23.11.**

Sitzung FNN Lenkungskreis NS/MS, Ber-  
lin

*Teilnehmer: M. Kurrat*

**24.11.**

DaLion 2. Industrieworkshop, Hannover

*Teilnehmer: K. Kurbach*

**24.11.**

NEDS-Quartalstreffen Hannover

*Teilnehmer: B. Engel, C. Reinhold*

**25.11.**

Kick-Off lautlos & einsatzbereit, Braun-  
schweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, J. Mummel*

**29.11.**

Gespräch Cyber-Sicherheit bei PV-  
Anlagen

*Teilnehmer: B. Engel*

**06.12.**

Fachforum - Batterieproduktion in  
Deutschland, Berlin

*Teilnehmer: U. Westerhoff*

**14.12.**

Projekttreffen PV-Wind-Symbiose, Halle

*Teilnehmer: B. Engel, H. Köppe, F. Muuß*

**15.12.**

Betriebsversammlung mit anschließender  
Weihnachtsfeier, elenia

*Teilnehmer: alle*

**16.12.**

ETG-Vorstandsitzung, Frankfurt

*Teilnehmer: B. Engel*

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

### Energieforschungsknoten der Technischen Universität Braunschweig

*Hauke Loges, M.Sc.; Fridolin Muuß, M.Sc.*

Der Energieforschungsknoten Braunschweig (EFK BS) beinhaltet 26 Institute verschiedener Disziplinen aus 5 Fakultäten der TU Braunschweig in Kooperation mit dem Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF), der Battery LabFactory Braunschweig (BLB), dem Laboratory of Emerging Nanometrology (LENA), sowie der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB). Zusammen wird die Wertschöpfungskette der Energieerzeugung, des Energietransports sowie der Energienutzung forschungstechnisch aufgenommen. Innerhalb des EFK BS existiert ein Sprecherteam aus drei Professoren (Herr Prof. Kurrat, Herr Prof. Eggert, Frau Prof. Krewer), welches als übergeordnetes Gremium im EFK für Entscheidungen zur Verfügung steht. Darüber hinaus existiert eine Koordinationseinheit in Form von zwei Mitarbeitern des Instituts für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen (Fridolin Muuß, Hauke Loges), welche sämtliche Koordination im EFK BS übernehmen (Terminkoordination, Protokollierung, Kommunikation zu Partnern, Koordination bei Anträgen). Zusammen mit den Mitgliedern des EFK in Form von Professoren und Mitarbeitern stellen diese den Kern des EFK BS dar.

## Forschungsthemen EFK BS

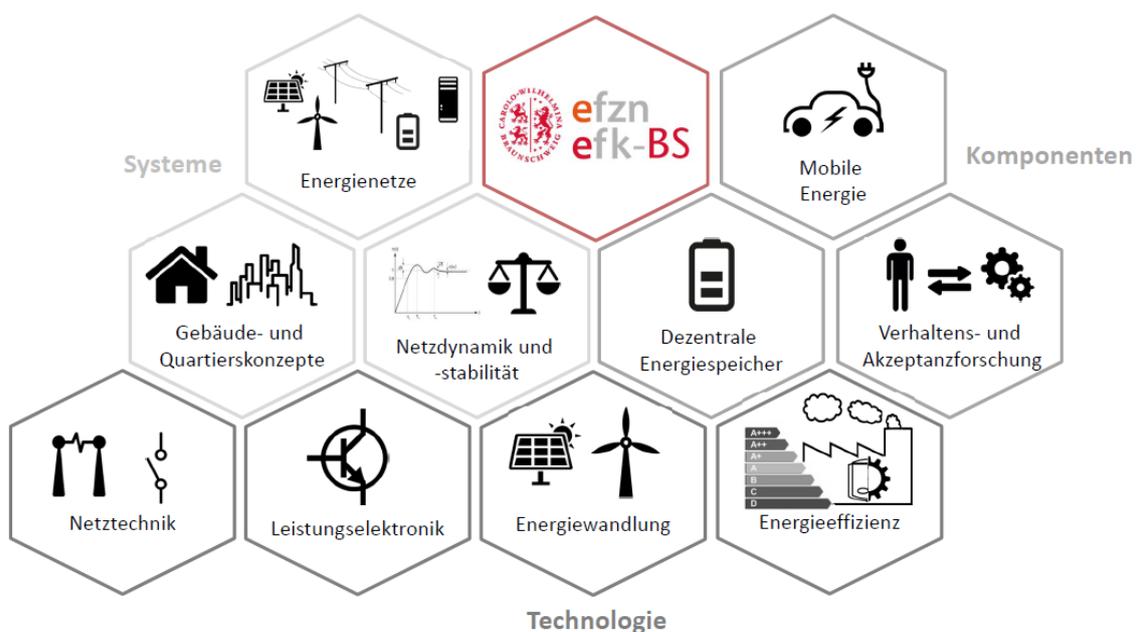


Abbildung 18: Forschungsthemen im EFK Braunschweig

Figure 18: The research areas of the EFK Braunschweig

Die Forschungsthemen des EFK Braunschweig sind in der Abbildung 18 dargestellt. Diese werden je durch mehrere Mitgliedsinstitute und Mitarbeiter in verschiedenen Forschungsprojekten bearbeitet. Die Forschungsschwerpunkte innerhalb des EFK sind dabei so aufgestellt, dass Beiträge zur Energiewertschöpfungs- und Energienutzungskette der Zukunft geleistet werden können. Ziel des EFK BS ist es, sich innerhalb der Themengebiete „Intelligente dezentrale Energiesysteme und Speicher“ stärker aufzustellen. Das Motto „klein, skalierbar, intelligent“ wird dabei als Leitbild für zukünftige Projekte verwendet. Bereits heute engagiert sich der EFK BS innerhalb von zwei interdisziplinären EFK Projekten. (NEDS und Smart-Nord-I-Q). Zukünftig strebt der EFK Braunschweig Verbundprojekte mit Partnern anderer EFK an.

### **The energy research node of the Technical University Braunschweig**

*Hauke Loges, M.Sc.; Fridolin Muuß, M.Sc.*

The energy research node Braunschweig (EFK BS) comprises 26 institutes of different disciplines from 5 faculties of the TU Braunschweig in cooperation with the Lower Saxony Research Center for Automotive Engineering (NFF), the Battery LabFactory Braunschweig (BLB), the Laboratory of Emerging Nanometrology (LENA) and the Physikalisch Technische Federal Institute of Technology (PTB). Together, the value chain of energy generation, energy transport and the use of energy are taken up by research technology. Within the EFK BS there is a spokesmen team consisting of three professors (Prof. Kurrat, Prof. Eggert, Prof. Krewer), who is available as a superior body in the EFK for decisions.

In addition, there is a coordination unit in the form of two co-workers from the Institute for High Voltage Engineering and Electrical Power Systems (Fridolin Muuß, Hauke Loges), who take over all coordination in the EFK BS (date coordination, logging, communication to partners, coordination of applications). Together with the members of the EFK in form of professors and employees, they represent the core of the EFK BS.

The research areas of the EFK Braunschweig are depicted in the Figure 18. These are each handled by several member institutes and employees in various research projects. The focus of the research activities within the EFK is thus to contribute to the energy production and energy use chain of the future. The aim of the EFK BS is to strengthen its position within the areas of "Intelligent decentralized energy systems and storage". The motto "small, scalable, intelligent" is used as a model for future projects. Today, the EFK BS is already active within two interdisciplinary projects. (NEDS and SmartNord-I-Q). In the future, the EFK Braunschweig is looking for collaborative projects with partners from other EFKs.

## Treffen der Cryogenic High Voltage Engineering (CrHIVE) Gruppe

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

Die Cryogenic High Voltage Engineering Gruppe hat sich 2015 auf Initiative von Herrn Stefan Fink vom KIT gebildet und umfasst derzeit ca. fünf teilnehmende Forscher des KIT (ITEP), der TU Braunschweig (elenia), der RWTH Aachen (Institut für Hochspannungstechnik), der TH Köln (Institut für Elektrische Energietechnik) und des ITER-Projektes.

Die Gruppe trifft sich in einem halbjährigen Intervall, sodass dieses Jahr im Rahmen des dritten Meetings die Forscher in Braunschweig zu Besuch waren und beim vierten Treffen in Karlsruhe begrüßt werden konnten. Ziel der Treffen ist gemeinsam über die sehr anspruchsvolle Prüftechnik im Bereich der kryogenen Isolationskoordination zu diskutieren und durch gegenseitige Unterstützung die Herausforderungen zu meistern. Dazu werden innerhalb der meist eintägigen Kolloquien der Stand der eigenen Forschung vorgestellt sowie neue Erkenntnisse im Bereich der tiefkalten Isolierungen besprochen.

Mit Begeisterung werden die äußerst vielfältigen Präsentationen der Versuchsmöglichkeiten, die den jeweiligen Gruppenmitgliedern zur Verfügung stehen, aufgenommen. Dazu gehören Kryostate verschiedener Größe und Eigenschaften, welche zur Untersuchung der elektrischen Festigkeit von Isolierstoffen bei Temperaturen bis zu  $-269^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden. Dies kann je nach Kryostat, auch bei unterschiedlichem Druck, verschiedenen Elektrodenanordnungen und Isolierstoffen sowie Umgebungsbedingungen durchgeführt werden.

Wir freuen uns, ein Teil dieser Gruppe zu sein und erwarten mit Spannung die kommenden Treffen.



Abbildung 19: Teilnehmer der CrHIVE-Gruppe

Figure 19: Participants of CrHIVE-Group

## Meeting of the Cryogenic High Voltage Engineering (CrHIVE) Group

*Dipl.-Ing. Nicholas Hill*

In 2015, Stefan Fink from the KIT founded the group Cryogenic High Voltage Engineering (CrHIVE), which currently comprises researchers from the KIT, TU Braunschweig (elenia), RWTH Aachen (Institute for High Voltage Technology), TH Köln (Electrical Power Engi-

neering) and ITER. This group meets biannual, thus the researchers attended the third meeting in Braunschweig and were welcomed at the fourth meeting in Karlsruhe. The aim of the meetings is to discuss the very demanding testing technique in the area of cryogenic insulation coordination and to master the challenges by mutual support. For this reason, the state of research is presented within the usually one-day colloquia, as well as new insights in the field of deep-cold insulation. Additionally, presentations on a great variety of experimental possibilities, each of the group members has to offer, are enthusiastically appreciated. For these experiments cryostats, which differ in size and properties, are used, in order to allow the research of dielectric strength of insulation materials at temperatures up to  $-269^{\circ}\text{C}$ . Depending on the cryostat, this can be done for many different boundary conditions such as different pressures, electrode configurations, and materials. Another important part of the meeting is the exchange of experiences of working in the field of low temperature insulation.

We are happy to be part of this group.

### **Pfingstexkursion des elenia und des Instituts für EMV nach Genf vom 17. bis zum 19. Mai**

*Dipl.-Ing. Tobias Kopp; Hartmudt Köppe, M.Sc.*

Die Woche nach Pfingsten wird von der Technischen Universität Braunschweig als Exkursionswoche genutzt. Wie in den vergangenen Jahren hat das elenia eine dreitägige Exkursion mit dem Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit organisiert. Die Studierenden hatten die Gelegenheit vom 17. bis zum 19. Mai die Welt der Teilchenphysik kennenzulernen und sich interkulturell fortzubilden.

Dienstagfrüh startete die Reisegruppe mit insgesamt 40 Teilnehmenden vom Flughafen Hannover und machte sich auf den Weg zum Hauptstadtflughafen der Schweiz nach Zürich. Von dort aus ging es mit dem Bus nach Genf durch die traumhaften Alplandschaften, die der Gruppe vom ortskundigen Busfahrer nähergebracht worden.

Nach der Ankunft startete das kulturelle Programm mit einer Stadtbesichtigung der besonderen Art, bei der es quer durch die Stadt ging und ein Mordfall aufzuklären war. Der Tag endete am Genfer See bei erfrischenden Kaltgetränken, wo das Panorama von Genf zu genießen war.

Am Mittwoch ging es direkt zum mit Spannung erwarteten Highlight der Exkursion, dem CERN. Zunächst wurden wir durch einen Grundlagenvortrag in die Welt des CERNs und der Teilchenphysik eingeführt. Das enorme Interesse der Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeiter spiegelte sich in der angeregten Diskussionsrunde am Ende des Vortrages wider. Im Anschluss folgte eine Besichtigung des beeindruckenden Datenverarbeitungszentrums, in welchem nicht nur die eminenten Datenmengen der Experimente verarbeitet werden, sondern auch der komplette Datenverkehr Genfs. Ebenfalls besichtigt wurde die Antimaterie-Fabrik, in welcher Antimaterie gefangen wird. Der Tag wurde letztlich von einem Vortrag des Absol-

venten der Technischen Universität Braunschweig Herrn Prof. Dr.-Ing. Erk Jensen zum Thema Hochfrequenz-Resonatoren für Teilchenbeschleuniger gekrönt. Auch dieser Vortrag stieß auf reges Interesse, sodass die Diskussion in einen gemütlicheren Rahmen verschoben werden musste.

Natürlich sollte auch das kulturelle Programm nicht zu kurz kommen, weshalb es zum Abschluss der Exkursion nach Frankreich auf den Mont Salève mit der Seilbahn ging. Dort hatten die Studierenden die Chance, den beeindruckenden Ausblick auf Genf und den Genfer See auf sich wirken zu lassen. Abschließend ging es zurück auf die wundervollen Alpenstraßen Richtung Zürich und von dort zurück nach Hannover.

### **Field trip of the elenia and the institute for EMC to Genf from the 17<sup>th</sup> to the 19<sup>th</sup> of May**

*Dipl.-Ing. Tobias Kopp, Hartmudt Köppe M.Sc.*

At the Technische Universität Braunschweig the week after Whitsun is used for study trips. The trips are open to participate to every student. 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. 40 students got to know the world of particle physics in Geneva from the 17<sup>th</sup> to the 19<sup>th</sup> of May.

After arriving in Geneva, the first order of the day was to explore the culture with a special sightseeing tour, trying to solve a murder. The last stop was the Lake Geneva, where we enjoyed the panorama view of Geneva alongside some cold beverages.

A trip to CERN made Wednesday the highlight of the excursion. The day took off with a presentation on the fundamentals of CERN and particle physics. Succeeded by a lively and inspired discussion between the students and research associates. Thirdly, a tour of the impressive data processing centre followed, which does not only process an eminent amount of data, but also Geneva's entire data traffic. Another stop was the antimatter factory which houses the antimatter. Lastly, an alumnus of the TU Braunschweig, Prof. Dr.-Ing. Erk Jensen, gave a speech on high-frequency resonators for particle accelerators.

The last day of the excursion took the group to France. The Mont Salève offered a last, impressive look at Geneva and the Lake Geneva.

### **TU-Night 2016**

*Lorenz Soleymani, M.Sc.*

Unter dem Motto "Zukunft Mensch - wie leben wir morgen?" hat am 18. Juni 2016 von 18 bis 1 Uhr die TU-Night stattgefunden. Etwa 20.000 Besucherinnen und Besucher haben die Gelegenheit genutzt, einen Blick hinter die Kulissen der TU Braunschweig zu werfen und auf dem Campus zu feiern. Das elenia hat sich in diesem Jahr mit zwei Ständen an der TU-Night präsentiert.

Da die Elektromobilität zwar in den Medien stark vertreten, jedoch bei einem Großteil der Bevölkerung noch immer nicht richtig angekommen ist, wurde auch in diesem Jahr am Ladebereich an der Schleinitzstraße das Projekt „Emilia“ vorgestellt. Bei Emilia handelt es sich um ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug, welches auf die zukunftsversprechende induktive Ladetechnologie setzt. Es handelt sich hierbei um die kleine Schwester der bekannten Elektrobusse „Emil“, die bereits seit 2014 im Braunschweiger Linienverkehr eingesetzt werden. In spannenden Diskussionen konnte den interessierten Besuchern der TU-Night die Elektromobilität greifbar gemacht werden.

Ein weiteres Highlight der TU-Night 2016 waren die faszinierenden Führungen durch die Hochspannungshalle des elenia. Neben den aufregenden Experimenten rund um das Thema Hochspannung wurden in diesem Jahr erstmalig Versuche mit flüssigem Stickstoff präsentiert. Insbesondere die beeindruckenden Blitzentladungen bei bis zu 750.000 V haben den Besuchern der TU-Night einen spannenden Einblick in die Hochspannungsthematik ermöglicht.



Abbildung 20: Induktiv-ladendes Elektrofahrzeugs Emilia auf der TU-Night 2016  
Figure 20: Inductive charging electric vehicle Emilia at TU-Night 2016

## **TU Night 2016**

*Lorenz Soleymani, M.Sc.*

The TU-Night 2016 took place on 18<sup>th</sup> June 2016. Approximately 20,000 visitors have taken the opportunity to take a look behind the scenes at TU Braunschweig and celebrate on campus. The elenia presented itself this year with two stands.

Electro mobility is strongly represented in the media, but a large part of the population has yet not come into contact with it. Therefore, this year the "Emilia" project was also presented at the charging area on Schleinitzstraße. Emilia is an electrically powered vehicle, which is based on the promising inductive charging technology. It is the little sister of the well-known electric bus "Emil", which has been used in Braunschweig's line traffic since 2014. In exciting

discussions, the interested visitors of TU-Night were able to inform themselves about electro mobility.

Another highlight of TU-Night 2016 were the fascinating tours through the elenia high-voltage hall. In addition to the exciting experiments with high-voltage, experiments with liquid nitrogen were presented this year for the first time. In particular, the impressive lightning discharges at up to 750,000 V have given the visitors of the TU-Night an exciting insight into high-voltage topic.

### **Exposé-Workshops vom 26.-27.07.16 und am 08.08.16**

*Tobias Runge, M.Sc.; Kerstin Kurbach, M.Sc.*

Mit der Einführung der Exposés wurde in der AG Energietechnologien in den letzten beiden Jahren der Grundstein für ein strukturiertes Vorgehen bei der Bewältigung des Promotionsvorhabens gelegt. Das Exposé dient der Definition des Forschungsvorhabens und erfordert schon zu Beginn der Promotion das Durchdenken der eigenen Arbeit und damit die frühzeitige Beschäftigung mit den Inhalten der Dissertation. Wesentliche Bestandteile des Exposés sind daher der aktuelle Stand der Forschung des eigenen Themengebiets sowie die Ableitung von offenen Fragestellungen. Auf diesem Weg erfolgt die Zieldefinition des eigenen Forschungsvorhabens.

Im Laufe des Jahres wurde in kleineren Gruppen der generelle Inhalt einer wissenschaftlichen Arbeit sowie mögliche Herangehensweisen zur Erstellung jener gemeinsam erarbeitet. Nach der Ausarbeitung einzelner Teilaspekte des Exposés fanden im Sommer die Exposé-Workshops statt. Jeder wissenschaftliche Mitarbeiter hatte während dieser Workshops die Gelegenheit, den aktuellen Stand des eigenen Exposés und dessen Inhalte vorzustellen, Feedback einzuholen sowie offene Fragen zu klären. Durch die Diskussion der verschiedenen Exposés wurden unterschiedliche Herangehensweisen deutlich, wodurch jeder für sich viele Ideen zur Erstellung des eigenen Exposés ableiten konnte.

### **Exposé-Workshop from the 26th to the 27th of July and on the 8th of August**

*Tobias Runge, M.Sc.; Kerstin Kurbach, M.Sc.*

With the introduction of the exposés, the foundation stone for a structured approach in the management of the doctoral thesis has been laid in the working group energy technologies. The exposé serves the definition of the research project and requires the thought-through of one's own work already at the beginning of the doctorate and thus the early employment with the contents of the dissertation. The main components of the exposé are therefore the current state of research of the individual subject area as well as the derivation of open questions. In this way the target definition of the own research project takes place.

In the course of the year, the general content of a scientific work as well as possible approaches to the preparation of the work were elaborated in small groups. After the preparation of some partial aspects of the exposé, the exposé workshops took place in summer. During these workshops, each scientific employee had the opportunity to present the current state of one's own exposé and its content, to get feedback and to clarify open questions. Through the discussion of the different exposés every one could draw many ideas for the creation of the own exposé.

### **Doktorandentage und AG-Klausur in Oberstdorf vom 02. bis 05. August**

*Julia Seidel, M.Sc.; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck*

Die diesjährige Klausurtagung der Arbeitsgruppe Energiesysteme führte die 23 Teilnehmer nach Oberstdorf. Schwerpunkt war die fachliche Diskussion ausgewählter Themen der einzelnen wissenschaftlichen Mitarbeiter. Die Doktorandentage starteten mit einer geführten Poster Session, aufgeteilt auf zwei Tage, um jeden Vortrag anschließend ausführlich diskutieren und besprechen zu können. So konnte sich jede Person einen umfassenden Überblick über die Forschungsvorhaben jedes Einzelnen verschaffen, wertvollen Input für die eigene Thematik einholen und in der anschließenden, thematisch sortierten Gruppendiskussion je nach Interessenlage genauer informieren.

Die an beiden Tagen folgenden Freizeit-Events, Canyoning und Wandern, waren geprägt von sportlichem Ehrgeiz. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter stellten während des Kletterns, Abseilens und Rutschens mal wieder ihre Wassertauglichkeit auf die Probe. Das Wandern, entweder in der imposanten Schlucht Starzlachklamm oder auf das 1900 m hohe Rubihorn, führte beiden Gruppen die schöne Natur des Allgäus vor Augen.

Die interessanten und erlebnisreichen Tage fanden bei vielen aufschlussreichen Gesprächen in typisch bayerischer Gastronomie ihren Ausklang.

### **Closed meeting with integrated doctoral days in Oberstdorf from 2<sup>nd</sup> to 5<sup>th</sup> August**

*Julia Seidel, M.Sc.; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franziska Lobas-Funck*

23 participants went to Oberstdorf for this year's four-day meeting by the working group Energy Systems. The emphasis was the professional examination of selected topics by the research associates. The first two days were spent by presenting posters and elaborate debates. This gave the participants the opportunity for in-depth conversation and to gain important input for on their research topics, as well as a basis for further group discussions. In order to keep the balance, the following two days were about sports, namely canyoning and hiking. In conclusion, the group enjoyed a nice retreat including many interesting talks and typically Bavarian food.



Abbildung 21: Teilnehmer der diesjährigen AG-Klausur der AG Energiesysteme  
Figure 21: Participants of this year's closed meeting of WG Energy Systems

### **3. Energietechnisches Symposium mit Ehemaligentreffen**

*Dirk Bösche, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.*

Dieses Jahr wurde an das bewährte Konzept aus dem Jahr 2014 angeknüpft und alle ehemaligen und aktuellen Mitarbeiter sowie Partner des Instituts zum dritten Energietechnischen Symposium im Haus der Wissenschaft eingeladen.

Das Energietechnische Symposium eröffnete Herr Prof. Kurrat nach einer kurzen Begrüßung mit einem Vortrag zum Gedenken an den kürzlich verstorbenen Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner. Danach folgte Herr Prof. Lindmayer mit einem Vortrag zur „Simulation von DC-Lichtbögen bei hohen Quermagnetfeldern“, dem im Anschluss an seinen Vortrag noch herzlich zu seinem 75. Geburtstag gratuliert wurde. Nach einer kurzen Kaffeepause ga-

ben zwei Referenten dem Publikum einen Überblick über aktuelle technische Entwicklungen im Rahmen der Energiewende. Frau Bauer vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) ging dabei auf die Thematik „Den sicheren Systembetrieb vorausschauend gestalten“ näher ein. Den Abschluss bildete Herr Dr. Brombach (enercon) mit seinem Vortrag über „Netzintegration von Windkraftanlagen“, in dem er Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Integrierung weiterer Windkraftanlagen in das deutsche Energieversorgungssystem aufzeigte.

Nach diesen interessanten Vorträgen gab es bei Kaffee und Kuchen die Möglichkeit neue Kontakte zu knüpfen oder sich mit Ehemaligen auszutauschen. Im anschließenden Rundgang durch die Labore des elenia konnten Einblicke in aktuelle Forschungsthemen gewonnen und Laborgerätschaften von ehemaligen Mitarbeitern des Instituts wiederentdeckt werden.



Abbildung 22: Gruppenfoto der Teilnehmer des 3. Energietechnischen Symposiums  
Figure 22: Group photo of the attendees of the 3<sup>rd</sup> “Energietechnische Symposium”

Die gesellige Abendveranstaltung fand dieses Jahr im Restaurant Parlament statt, wo in einem beeindruckenden Ambiente deftige und abwechslungsreiche Speisen serviert wurden. Bei dem einen oder anderen Getränk wurden so noch lange viele interessante Gespräche geführt und Institutsgeschichten ausgetauscht.

Insgesamt können wir auf ein gelungenes drittes Energietechnisches Symposium 2016 zurückblicken und freuen uns schon jetzt auf die Fortsetzung der Symposien-Reihe.

### **3. Energietechnische Symposium and alumni reunion**

*Dirk Bösche, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.*

Following the proven concept of 2014, all former and current colleagues, as well as business partners of the institute were invited to the third “Energietechnische Symposium”.

Prof. Kurrat introduced the third symposium after a short welcome with a presentation to the remembrance of Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner. Prof. Lindmayer followed with his presentation on the topic of simulation of switching arcs under transverse magnetic fields under DC interruption. Prof. Lindmayer was warmly congratulated after his lecture on his 75<sup>th</sup> birthday. After a short coffee break, two speakers gave insight into current technical developments in scope of German energy revolution. Mrs. Bauer (VDE) dealt more closely with the topic of designing a safe system operation in a forward-looking manner. Dr. Brombach (enercon) concluded the lectures with a presentation about the opportunities and challenges in the integration of further wind power plants into the German energy supply system.

After these interesting lectures, the attendees had the possibility to establish new contacts or to meet old colleagues. In the subsequent tour through the laboratories, insights into current research topics were gained. The evening event took place at the restaurant Parlament. Everybody enjoyed interesting conversations until late into the night.

We can look back on a successful third “Energietechnische Symposium” and are looking forward to continue the symposium series.

### **Präsentation der mechanischen und elektrotechnischen Werkstatt am 21. Oktober 2016**

*Christian Ryll, Kerstin Rach*

Zahlreich erschienen die Mitarbeiter des elenia und des Institutes für Elektromagnetische Verträglichkeit, als die Werkstätten des elenia ihre Pforten zum zweiten Mal für das Publikum öffneten. In den neuen Räumlichkeiten des Hochspannungspraktikumsraumes hatten die Besucher die Möglichkeit einen Einblick in die Aufgabengebiete der elektrotechnischen und mechanischen Werkstatt zu erlangen. Dabei boten sich den Interessierten technisch sehr anspruchsvolle Aufbauten aus gegenwärtigen Projekten als auch einzelne Exponate, welche die Fertigkeiten der Mitarbeiter und das Knowhow beider Werkstätten repräsentierten. Die Mitarbeiter beider Werkstätten und die Auszubildenden der mechanischen Werkstatt standen den Besuchern für Fragen zur Seite und gaben anhand einiger Beispiele einen Einblick in die Vorgehensweise und Bewältigung komplexer technischer Aufgaben.

### **Exhibition of the mechanical and electro-technical workshop on 21<sup>th</sup> October 2016**

*Christian Ryll, Kerstin Rach*

Numerous staff members of the elenia and the Institute for Electromagnetic Compatibility showed up for the second public opening of the two workshops of the elenia. The new premises of the high-voltage-internship-lab provided the opportunity to take a look behind the scenes of the mechanical and electro-technical workshops. Furthermore, an exhibit displayed the current ambitious constructions, from standalones and projects, and presenting the knowledge and skills of the artists. Additionally, employees and trainees from both work-

shops answered questions and gave an interesting insight into how to deal with complex, technical assignments.



Abbildung 23: Blick auf die Ausstellungsstücke und Exponate der elektrotechnischen Werkstatt

Figure 23: A glance at the various exhibition pieces of the electro-technical workshop



Abbildung 24: Mitarbeiter beider Werkstätten stellen ihre Ausstellungsstücke vor  
Figure 24: Presentation of exhibition pieces created in both workshops



Abbildung 25: Versuchsaufbauten und Lehrwerkstücke werden von Mitarbeitern und Auszubildenden der mechanischen Werkstatt vorgestellt

Figure 25: Presentation of experimental setups and practice objects prepared through the mechanical workshop

## 5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News

### 5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications

- 1) Loges, H. – Engel, B.: Messtechnische Untersuchung von Verlusten bei Batteriespeichern für PV-Anlagen, 26.-27.1.2016, 3. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin
- 2) Osterkamp, B. – Seidel, J. – Premm, D. – Unru, A. – Engel, B.: Gegenüberstellung technischer Potentiale und zukünftiger Anforderungen zur Regelleistungsbereitstellung mit PV-Anlagen, 26.-27.1.2016, 3. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin
- 3) Mummel, J. – Stocklossa, T. – Wijtenburg, J. – Kurrat, M.: Beitrag dezentraler Erzeugungseinheiten zum nachhaltigen und wirtschaftlichen Betrieb von Elektrofahrzeugflotten, 10.-12.2.2016, 14. Symposium Energieinnovation, Graz
- 4) Seidel, J. – Osterkamp, B. – Steinmetz, T. – Premm, D. – Bohnenberger, M. – Engel, B.: Kombinierte Veräußerung von PV-Strom an Spot- und Regelleistungsmarkt, 10.-12.2.2016, 14. Symposium Energieinnovation, Graz
- 5) Dietrich, T.-H. – Löffler, C. – Henke, M. – Meins, J. – Wussow, J. – Engel, B. – Kurczveil, T. – Callegari, J.: Fahrzeugintegration und Systemkonzept beim induktiven Schnellladen hoher Leistung, 23.-24.2.2016, 13. Symposium Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Braunschweig
- 6) Westerhoff, U. – Kurrat, M.: Kombination von Batteriemodell und Messverfahren zur Batteriezustandsdiagnose, 23.-24.2.2016, 13. Symposium Hybrid- und Elektrofahrzeuge, Braunschweig
- 7) Lindmayer, M.: Simulation of Switching Arcs Under Transverse Magnetic Fields under DC Interruption, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 44, No. 3, February 2016
- 8) Bettenwort, G. – Bülo, T. – Engel, B. – Falk, A. – Laschinski, J. – Premm, D. – Osterkamp, B. – Poehling, S. – Seidel, J. – Unru, A.: Photovoltaik als verlässliche Säule der Energieversorgung, 9.-11.3.2016, 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein
- 9) Loges, H. – Engel, B.: PV-Speicher brauchen ein Effizienzlabel – Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung von verschiedenen Speichersystemen, 9.-11.3.2016, 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein
- 10) Hollinger, R. – Diazgranados, L. M. – Wittwer, C. – Engel, B.: Exploiting all degrees of freedom within regulation to optimally provide primary control reserve with battery systems, 14.-16.3.2016, Konferenzbeitrag auf der 11th International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf
- 11) Kurrat, M.: Dielectric Model for Capacitive Switching of VCB, 15.3.2016, Current Zero Club, Birmingham, Great Britain
- 12) Hill, N. – Blaz, M. – Kurrat, M.: Sensitivity Analysis of Breakdown Voltage Calculations for Liquid Nitrogen, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Volume: 26, Issue: 3.4.2016
- 13) Kurbach, K. – Lenze, G. – Westerhoff, U. – Kurrat, M. – Krewer, U.: Diagnostic Method for Determining Cell Characteristics Depending on Varying Process Parameters in the Cell Production, 6.-8.4.2016, Batterieforum Deutschland 2016, Berlin
- 14) Kurbach, K. – Kurrat, M.: Influence of the charging current during formation on the cycling stability of lithium-ion cells, 26.-27.4.2016, Advanced Battery Power 2016, Münster
- 15) Westerhoff, U. – Lienesch, F. – Kurrat, M.: Matching Battery Model and Measurement Technology for Predicting the State of Function, 26.-27.4.2016, Advanced Battery Power 2016, Münster
- 16) Diekmann, S.: Energieeffizienz zum Nachrüsten – Eine Vision für die Stadt der Zukunft, 28.4.2016, Energieforum „Life needs Power“ auf der Hannover Messe 2016, Hannover

- 17) Klosinski, C. – Hemdan, N. – Kurrat, M. – Gerdinand, F. – Meisner, J. – Passon, S.: *A new software-based control unit for fault detection and isolation in LV DC systems*, 6.-9.6.2016, 28th International Conference on Electric Contacts 2016, Edinburgh, Great Britain
- 18) Köpf, H. – Wilkening, E. – Kurrat, M.: *Breaking performance of a dc contactor for high-voltage dc on-board powersystems*, 6.-9.6.2016, The 28th International Conference on Electrical Contacts ICEC 2016, Edinburgh, Great Britain
- 19) Kopp, T. – Runge, T. – Kurrat, M.: *Investigation of arc interruption behavior of a model spar gap after surge current*, 6.-9.6.2016, 28th International Conference on Electric Contacts 2016, Edinburgh, Great Britain
- 20) Runge, T. – Krause, T. – Kopp, T. – Bewersdorff, J. – Lienesch, F. – Kurrat, M.: *Experimental investigations on plasma pressure in a narrow gap for short time currents*, 6.-9.6.2016, 28th International Conference on Electric Contacts 2016, Edinburgh, Great Britain
- 21) Koch, S. – Engel, B.: *Auswirkungen einer netzdienlichen Betriebsweise von Wärmepumpen auf ein PV dominiertes Neubaugebiet*, 14.-15.6.2016, Power-to-Heat Konferenz, Goslar
- 22) Laudahn, S. – Bülo, T. – Premm, D. – Seidel, J. – Engel, B.: *Substitution of Synchronous Generator Based Instantaneous Frequency Control Utilizing Inverter-coupled DER*, 27.-30.6.2016, 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG 2016) Vancouver, Canada
- 23) Pieniak, T. – Kurrat, M. – Gentsch, D.: *Measuring emissivity of contact material using a thermography camera*, 8.-9.9.2016, The 5th ITG International Vacuum Electronics Workshop 2016, Bad Honnef
- 24) Hilbert, M. – Kurrat, M.: *Simulations of Micro Discharge Propagation through Gaps with PIC-MC*, 11.-16.9.2016, 21<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharges and their Applications, Nagoya, Japan
- 25) Runge, T. – Krause, T. – Kopp, T. – Bewersdorff, J. – Lienesch, F. – Kurrat, M.: *Measurements of plasma pressure in a narrow gap for different surge currents*, 11.-16.9.2016, 21<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharges and their Applications, Nagoya, Japan
- 26) Kurrat, M.: *Deposition Layer on VCB Ceramics*, 16.-17.9.2016, Current Zero Club Meeting, Nagoya, Japan
- 27) Kühn, B. – Kurrat, M. – Hilbert, M. – Gentsch, D.: *Multiple shield arrangements breakdown model in vacuum interrupters*, 18.-23.9.2016, 27<sup>th</sup> International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Suzhou, China
- 28) Kurrat, M.: *Simulation of capacitive switching behavior for vacuum circuit breaker*, 18.-23.9.2016, 27<sup>th</sup> International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Suzhou, China
- 29) Pieniak, T. – Kurrat, M. – Gentsch, D.: *Surface temperature measurement of transversal magnetic field contacts using a thermography camera*, 18.-23.9.2016, 27<sup>th</sup> International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Suzhou, China
- 30) Klosinski, C. – Hemdan, N. – Kurrat, M. – Gerdinand, F. – Meisner, J. – Passon, S.: *Smart Modular Switchgear – Fehlerdetektion, -ortung und -abschaltung in DC-Netzen, Zukunftsfähige Stromnetze*, 22.-23.9.2016, Stromnetze - Strominitiative der Bundesregierung, Berlin
- 31) Kind, D. – Kurrat, M. – Kopp, T.: *Voltage-time Characteristics of Airgaps and Insulation Coordination - Survey of 100 Years Research*, 25.-30.9.2016, 32<sup>nd</sup> International Conference on Logic Programming 2016, Estoril, Portugal
- 32) Hemdan, N. – Klosinski, C. – Hilbert, M. – Kurrat, M. – Gerdinand, F. – Meisner, J. – Passon, S.: *Fault Matrix Based Protection Coordination in Low Voltage DC Systems*, 28.9.-1.10.16, IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON), Wollongong/Australia
- 33) Loges, H. – Engel, B.: *Batteriespeicher im Einfamilienhaushalt: Herausforderungen und Chancen*, 8. Effizienz-Tagung Bauen + Modernisieren, 4.-5.11.2016, Hannover

- 34) Mummel, J. – Diekmann, S. – Wussow, J. – Engel, B. – Lienesch, F. – Kurrat, M.: Intelligentes Lademanagement von Elektrofahrzeugen in Verbindung mit vernetzten Wohnquartieren und dessen Auswirkungen auf das vorgelagerte Niederspannungsnetz, 7.-8.11.2016, VDE Kongress 2016, Bonn
- 35) Unger, D. – Spille, S. – Engel, B.: Implementierung von dezentralen Speichern in ein Marktmodell des europäischen Energiesystems, 7.-8.11.2016, VDE Konferenz 2016, Mannheim
- 36) Hilbert, M. – Turki, F. – Kühn, B. – Kurrat, M.: Novel PD Measuring System and Test Circuit for Operating Frequencies of 20 kHz, 15.-16.11.2016, VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik, Berlin
- 37) Hill, N. – Schierding, C. – Hilbert, M. – Kurrat, M. – Weichert, H.: PD measurements on low voltage bus-bars at operating temperatures, VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik, 15.-16.11.2016, Berlin
- 38) Kühn, B. – Kurrat, M. – Gentsch, D.: Field grading method of a double breaking vacuum chamber arrangement, VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik, 15.-16.11.2016, Berlin
- 39) Schierding, C. – Hilbert, M. – Kurrat, M. – Möckel, D. – Thedens, M.: Electrostatic investigations for characterization of HVDC insulation systems, VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik, 15.-16.11.2016, Berlin
- 40) Sobhy, T. – Hemdan, N. – Hamada, M – Wahab, M.: Coordinated Reactive Power Management in Distribution Networks with Renewable Energy Resources, 27.-29.12.2016, 18th International Middle East Power Systems Conference MEPCON 2016, Egypt
- 41) Mennenga, M. – Egede, P. – Bodmann, M. – Mummel, J. – Sander, M. – Herrmann, C. – Kurrat, M. – Küçükay, F.: Cyber-Physischer Ansatz zur Planung von Elektroflotten, In: 7. Wissenschaftsforum Mobilität „National & International Trends in Mobility“, Duisburg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016
- 42) Klosinski, C.: Smarte DC-Schalter für Micro-Grids, smart energy, S3 2016, etz – elektrotechnik und automation (Sonderausgabe)
- 43) Westerhoff, U. – Kroker, T. – Kurbach, K. – Kurrat, M.: Analysis of Lithium-Ion Battery Models Based on Electrochemical Impedance Spectroscopy, Journal of Energy Technology 2016, Vol. 4, Pages 1 – 12 (DOI: 10.1002/ente.201600154)
- 44) Westerhoff, U. – Kurbach, K. – Lienesch, F. – Kurrat, M.: Electrochemical Impedance Spectroscopy Based Estimation of the State of Charge of Lithium-Ion Batteries, Journal of Energy Storage 2016, Vol. 135, Pages 1 – 13 (DOI: 10.1016/j.est.2016.09.001)
- 45) Sobhy, T. – Hemdan, N. – Hamada, M – Wahab, M.: Reactive Power Management Strategies in Active Distribution Networks, International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grid, 2016

## 5.2 Berichte in den Medien – News

*Schnelle Ladung fürs Taxi*

VDE dialog – Das Technologie-Magazin,  
Ausgabe 04/2016

*TU Braunschweig: Neue Fotovoltaik-  
Anlage ist am Netz*

30.09.2016, Wolfsburger Allgemeine

*TU Braunschweig: Meilenstein in Sachen  
Elektromobilität*

17.08.2016, Wolfsburger Allgemeine

*Solarstrom-Anlage für Forschung an der  
TU*

01.10.2016, Braunschweiger Zeitung

*Autos sollen bald drahtlos laden*

26.09.2016, WirtschaftsWoche

*Kabelloses Schnellladen mit hoher Leis-  
tung*

12.10.2016, Produktion – Die Wirtschafts-  
zeitung für die deutsche Industrie

*Volle Energie voraus*

29.09.2016, Studi38.de



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)