



Technische
Universität
Braunschweig

elenia
Institut für Hochspannungstechnik
und Elektrische Energieanlagen



©TU BS, Fotografin Glasserman.

Jahresbericht 2018

Institut für Hochspannungstechnik
und Elektrische Energieanlagen
- elenia

Jahresbericht 2018

Inhaltsverzeichnis – Table of Contents

Vorwort – Preface.....	4
1 Personelle Besetzung des Instituts – Staff.....	12
2 Lehre – Lectures	29
2.1 Vorlesungen und Praktika – Lectures and Laboratories	29
2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects.....	37
2.3 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses.....	37
2.4 Masterarbeiten – Master Theses	38
3 Berichte aus Forschung und Entwicklung – Abstracts on Research Projects	41
3.1 Komponenten der Energieversorgung – Components for Power Supply.....	45
3.2 Elektromobilität – Electric Mobility.....	57
3.3 Aktives Verteilnetz – Smart Grid	64
3.4 Dissertationen – Dissertations.....	75
4 Besondere Ereignisse 2018 – Special Events 2018	85
4.1 Kalender der besonderen Ereignisse – Calendar of Special Events	85
4.2 Berichte von besonderen Ereignissen – Reports on Special Events	94
5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News	106
5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications	106
5.2 Berichte in den Medien – News.....	109

Liebe Freunde des Instituts,

Freude über unsere Erfolge, aber auch Trauer brachte für uns das Jahr 2018. Unsere Forschungsschwerpunkte entwickeln sich erfreulich gut und unsere Antragstellungen waren ebenfalls von Erfolg gekrönt. Tief bewegt hat uns jedoch der unerwartete Tod unseres ehemaligen Institutsdirektors und Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Prof. Dieter Kind. Unser diesjähriges Symposium war der Erinnerung an Dieter Kind gewidmet und wurde zusammen mit der PTB ausgerichtet. Prof. Kind war unserem Institut Zeit seines Lebens eng verbunden. Wir haben ihm viel zu verdanken und bewahren ihm ein ehrendes Andenken.

Die Fakultät Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik traf sich, unter anderem auf Initiative ihres Dekans Prof. Kurrat, im Februar zu ihrer Klausurtagung *Strategie 2030* am Forschungsflughafen. Es dürfte nicht verwundern, dass *Energiewende und Elektromobilität* eines der sechs Forschungsthemen ist. Erfreulich ist auch die steigende Nachfrage beim Masterstudiengang Elektromobilität. Ganz besonders freuen wir uns über die Freigabe der Professur für *Mobile Elektrische Energiesysteme* in unserem Partnerinstitut für Elektromagnetische Verträglichkeit. Hier wird eine wichtige Lücke in der Systemkompetenz von NFL und NFF geschlossen. Der Höhepunkt des Jahres war für uns die Bekanntgabe der geförderten Exzellenzcluster. Die Fakultät ist bei insgesamt drei Exzellenzclustern erfolgreich gewesen. Für die energietechnischen Institute ist besonders die Teilnahme am Cluster *Sustainable Energy Efficient Aviation* und der Einstieg in leistungsstarke Bordnetze von großer Bedeutung.

Die Fokussierung auf unsere drei Schwerpunkte ist auch weiterhin sehr erfolgreich. Über viele positive Projektergebnisse dürfen wir in diesem Jahr berichten.

Der Schwerpunkt *Aktives Verteilnetz* freute sich besonders über die feierliche Einweihung der *elenia energy labs* im Oktober zusammen mit der der Präsidentin der TU Braunschweig Frau Prof. Kaysser-Pyzalla und vielen Partnern. Durch diese vom BMWi mit etwa einer Million Euro geförderte Infrastruktur verbessern sich die Forschungsmöglichkeiten am Institut bezüglich verfügbarem Platz und Geräteausstattung deutlich. Im zugehörigen Netzdynamiklabor werden zurzeit Versuche, zum Beispiel für das große Verbundforschungsprojekt *Netzregelung 2.0*, durchgeführt. Im Energiemanagementlabor können beispielsweise verschiedene Ladeeinrichtungen der Elektromobilität auf unserem Parkplatz, Wärmepumpen, Speicher und die PV-Anlage in Versuche eingebunden werden. Erfolgreich sind wir hier im Bereich von Effizienzmessungen für PV-Heimspeicher für einige Industriepartner.

Die *elenia energy labs* werden auch dem Energieforschungsknoten der TU Braunschweig des Energieforschungszentrums Niedersachsen (EFZN) als gemeinsame Forschungsinfrastruktur intelligenter, dezentraler Energiesysteme dienen. Der Bezug des frisch renovierten Versuchsraums im Erdgeschoss des Südturms des Mühlenpfordthauses war ein erster Schritt der Umsetzung des Raumkonzeptes der Elektrotechnik in diesem Gebäude, gefolgt u.a. von dem geplanten Umzug und einer Erweiterung des studentischen Rechnerraums CI-Pool. Im Jahr 2018 wurden zwei große vom BMWi geförderte Verbundforschungsvorhaben bewilligt. Im Projekt *Auswirkungen zukünftiger Netznutzungsfälle der Niederspannung: Photovoltaik, Elektrofahrzeuge, PV-Batteriespeichersysteme und Power-to-Heat-Anwendungen und ihre Betriebsweise auf die Spannungsqualität (Spannungsgrenzen, Gradienten, Unsymmetrie, Oberschwingungen, Flicker) und deren Beherrschung (U-Quality)*, u.a. mit der RWTH Aachen, der TU München und der Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft sowie weiterer Industriepartner, werden die Spannungsqualität und deren Aspekte im Niederspannungsnetz betrachtet. Im Projekt *Hochverfügbarer Verteilungsnetzbetrieb bei Störung der IKT-Infrastruktur im Smart Grid (IKTfree)* wird zusammen mit dem DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme untersucht, wie hochvernetzte Energiesysteme so gestaltet werden können, dass sie auch in Zukunft robust gegen Störungen oder Ausfall der IKT-Infrastruktur sind.

Der Forschungsschwerpunkt *Elektromobilität* konnte mit dem vom BMBF geförderten internationalen Projekt *BaSS-Batterie Sicherheitsstandardisierung* ein weiteres wichtiges Projekt für die wachsende Forschergruppe Batterietechnik einwerben. Das Ziel des Projekts ist die sicherheitstechnische Auslegung von Pouchzellen mit zukünftigen High-Performance-Materialien. Der Fokus liegt dabei auf der Standardisierung von Format und Prüfverfahren. Durch die Erarbeitung der Harmonisierung der Anforderungen aus dem deutschen und chinesischen Markt in Korrelation mit den zugehörigen Sicherheitstests soll eine Standardisierung der Pouchzellformate erfolgen. Die Bearbeitung des Projektes erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten TU-Instituten (IWF, iPAT, ifs, IK), der PTB und in China mit der NEPSI und der Tongji University. Weiterhin konnte die erfolgreiche Kooperation mit der Arbeitsgruppe Elektrochemie und elektrochemische Energiespeicher der PTB fortgeführt werden.

Im Schwerpunkt *Komponenten der Energieversorgung* liegt der Fokus auf der Erschließung und Absicherung neuer Methoden. Unser erweitertes Portfolio reicht von Teilentladungsmessungen an Schaltgeräten über Druckmessungen bei Plasmavorgängen bis zur berührungslosen Temperaturmessung von Fußpunktgebieten auf Kontakten während des Schaltvorganges. In der wertvollen Zusammenarbeit mit dem INP Greifswald können auch Plasmatemperaturen optisch gemessen werden. Im Zeichen dieser Zusammenarbeit ist die Doktorarbeit von Herrn Tobias Runge zu sehen, der dafür in diesem Jahr mit dem Walter-Kertz-Preis ausgezeichnet wurde. Optische Aufnahmen werden ebenfalls in unserer Leistungsschaltergruppe im Bereich

der Vakuumschalter durchgeführt. Um die vielen Highspeed-Aufnahmen reproduzierbar auswerten zu können, arbeiten wir intensiv an einer automatischen Bildauswertung. In einem Verbundprojekt mit der TU Darmstadt fördert und die DFG, damit wir unsere optischen Aufnahmen mit den Ergebnissen aus Darmstadt abgleichen können. Für die Untersuchungen von Niederspannungs-Gleichstrom-Schutzeinrichtungen wurde in dem erfolgreich abgeschlossenen Projekt *smart modular switchgear (SMS)* neben dem Netzdynamiklabor ein DC-Microgrid-Labor eingerichtet. Dieses ermöglicht den Aufbau von unterschiedlichen Netztopologien und erweitert unser Forschungsportfolio. Das Hochleistungs-Gleichstrom-Labor mit den beeindruckenden Leistungsdaten von 12 kV und 30 kA wird nach eingehender Prüfung des Netzanschlusses im Umspannwerk im nächsten Jahr realisiert. Unsere DC-Bordnetzforschung bringen wir beim Exzellenz-Cluster SE2A *Nachhaltige und effiziente Energie in der Luftfahrt* in den Vollartrag mit ein. In der Forschergruppe HVDC-Technology hat Herr Dr. Hemdan Anfang des Jahres das Institut verlassen. Er arbeitet weiterhin im Bereich der Schutztechnik von Hochspannungs-Gleichstromsystemen und wir wünschen ihm viel Erfolg bei seiner neuen Tätigkeit in der Industrie. Die Forschergruppe wird in einer Zusammenarbeit mit der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaft bestehen bleiben und wir begrüßen den Kollegen Prof. Martin Könemund in diesem hochaktuellen Forschungsthema. Besonders freuen wir uns über die enge Zusammenarbeit mit der PTB in den Fachbereichen *Explosionsschutz und Elektrische Energiemesstechnik*. In gemeinsamen Promotionsvorhaben werden die Einflüsse von Oberflächenladungen auf die elektrische Festigkeit unter Gleichspannungsbelastung oder die Messmöglichkeiten von schnellen transienten Vorgängen bei Hochspannungs-Gleichstrom-Schaltern erforscht. Im internationalen wissenschaftlichen Austausch arbeiten wir intensiv mit der Jiaotong-Universität in Xi'an zusammen. Hierzu hat uns Prof. Zhang im letzten Jahr als Gastprofessor vor Ort begleitet.

Für diese Erfolge bedanken wir uns herzlich bei unseren Schwerpunkt- und Arbeitsgruppenleitern, die sich neben ihren Forschungsarbeiten noch Zeit für diese verantwortungsvollen Aufgaben nehmen. Ein besonderer Dank geht an Herrn Dr. Lienesch von der PTB, der die Forschung in unserem Schwerpunkt Elektromobilität als Mentor stark unterstützt.

Im institutseigenen *Projekt Management Office (PMO)* hat sich das Personalkarussell mit hoher Geschwindigkeit weitergedreht. Die zwei langjährigen Mitarbeiter/innen Carola Schierding und Benjamin Kühn haben ihre Plätze freigegeben für junge und neu angekommene Mitarbeiter. Neben der Kernkompetenz des PMO, die kommunikative Schnittstelle zwischen den Organisationsebenen des Instituts zu bilden, stand das vierköpfige Team vor neuen Herausforderungen. Die intensive und diskussionsreiche Findungsphase, u.a. unterstützt durch einen internen Workshop mit dem Schwerpunkt der *Agilen Managementmethoden*, führte zu neuen Wegen im PMO. Die abgeleiteten Ergebnisse werden nach und nach umgesetzt, wie etwa die neuen *Open-Tuesday* Veranstaltungen bereits erkennen lassen.

Für das neue Jahr 2019 dürfen wir auf weitere Veranstaltungen hinweisen. Bereits im Februar wird der erste EFZN-Forschungstag an der TU Braunschweig stattfinden. Wissenschaftler/innen und insbesondere Nachwuchswissenschaftler/innen der EFZN-Standorte haben am 19. Februar die Möglichkeit, ihre Forschungsarbeiten zu präsentieren und sich über aktuelle Forschungsfragen auszutauschen. Der Forschungstag soll als jährliche Veranstaltung an den EFZN-Standorten ausgetragen werden, bei der die niedersächsische Energieforschung im Vordergrund steht.

Auch im Jahr 2019 soll das Braunschweiger Supraleiterseminar, welches einen Einblick in den aktuellen Stand der Entwicklung der Supraleiter sowie Gelegenheit für den intensiven Dialog zwischen Anwendern und Herstellern bietet, nicht fehlen. Um an die Erfolge der bisherigen neun vorangegangenen Seminare anzuknüpfen, wird das zehnte Treffen, wie auch im Vorjahr, durch das zweite Gleichstromtechnikseminar ergänzt, welches die Thematik um die DC-Netze und deren Technik erweitert. Diese beiden Themenkomplexe ergeben damit für 2019 die *Braunschweiger Energieseminare*. Diese werden voraussichtlich gegen Ende Juni stattfinden, Informationen dazu können unter supraleiterseminar-elenia@tu-braunschweig.de erfragt oder auf der Homepage des elenia gefunden werden. Zu diesen Veranstaltungen laden wir sie herzlich ein.

Mit dem Wunsch für ein gutes und erfolgreiches Jahr 2019 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 und den Niedersächsischen Ministerien für Wissenschaft und Kultur sowie für Umwelt, Energie und Klimaschutz, für die Unterstützung unserer Arbeiten.

Braunschweig, im Dezember 2018



Bernd Engel



Michael Kurrat

Dear Friends of the Institute,

the year 2018 brought us both joy and sorrow. Our main research areas are developing pleasingly well and our applications were also crowned with success. However, we were deeply moved by the unexpected passing away of our former institute director and president Presidents of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Prof. Dieter Kind. This year's symposium was dedicated to the memory of Dieter Kind and was organized in collaboration with the PTB. Prof. Kind was closely connected to our institute throughout his life. We owe him a lot and will keep him in honorable memory.

The Faculty of Electrical Engineering, Information Technology and Physics met at the research airport in February for its *Strategy 2030* closed-door conference, partly on the initiative of its Dean, Prof. Kurrat. Unsurprisingly, *energy system transformation and electromobility* are one of the six research topics. The increasing demand for the Master's program in electromobility is also delightful. We are particularly pleased about the approval of the professorship for *Mobile Electrical Energy Systems* in our partner Institute for Electromagnetic Compatibility. This closes an important gap in the system competence of NFL and NFF. The announcement of funded excellence clusters depicted itself as the highlight of our year. The faculty has been successful in a total of three clusters of excellence. For the energy technology institutes, participation in the *Sustainable Energy Efficient Aviation* cluster and entry into high-performance vehicle electrical systems are of particular importance.

The focus on our three core areas continues to be very successful. We can report on many positive project results this year.

The focal point *Active Distribution Network* was particularly pleased with the ceremonial inauguration of the elenia energy labs in October together with the President of the Braunschweig Technical University, Prof. Kaysser-Pyzalla, and many partners. This infrastructure, funded by the BMWi with about one million euros, significantly improves the institute's research possibilities in terms of available space and equipment. In the associated network dynamics laboratory, tests are currently being carried out, for example, tests concerning the large collaborative research project *Network Control 2.0*. In the energy management laboratory, for example, various electric mobility charging devices on our parking lot, heat pumps, storage tanks and the PV system can be integrated into tests. We are successful in the field of efficiency measurements for PV home storage for several industrial partners.

The *elenia energy labs* will also serve as a joint research infrastructure for intelligent, decentralized energy systems for the energy research department of the Energy Research Center Lower Saxony (EFZN) at Braunschweig Technical University. Moving to the newly renovated test room on the ground floor of the Mühlenpfordthaus' south tower, was a first step towards implementing the electrical engineering room concept in this building. This will be followed, among other things, by the planned relocation and extension of the student computer room CI-Pool.

In 2018, two major joint research projects funded by the BMWi were approved. In the project *Effects of future low-voltage grid usage cases: photovoltaics, electric vehicles, PV battery storage systems and power-to-heat applications and their mode of operation on the voltage quality (voltage limits, gradients, asymmetry, harmonics, flicker) and their control (U quality)*, among others with the RWTH Aachen, the TU Munich and the Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft as well as other industrial partners, the voltage quality and its aspects in the low-voltage grid are considered. In the project *Highly available distribution network operation in the event of disruption of the ICT infrastructure in the Smart Grid (IKTfree)*, DLR and the DLR Institute for Networked Energy Systems are investigating how highly networked energy systems can be designed in such a way that they will continue to be robust against disruptions or failure of the ICT infrastructure in the future.

With the international project *BaSS-Battery Safety Standardization* funded by the BMBF, the research focus Electromobility was able to acquire another important project for the growing research group Battery Technology. The project's aim is to design safety-related pouch cells with future high-performance materials. The focus is on the standardization of format and test procedures. Standardization of the pouch cell formats is to be achieved by harmonizing the requirements from the German and Chinese markets in correlation with the associated safety tests. The project is being carried out in close cooperation with participating TU-Institutes (IWF, iPAT, ifs, IK), PTB and in China with NEPSI and Tongji University. Furthermore, the successful cooperation with the working group electrochemistry and electrochemical energy storage of the PTB could be continued.

The focus of our *energy supply components* is on the development and validation of new methods. Our extended portfolio ranges from partial discharge measurements on switchgear to pressure measurements in plasma processes and non-contact temperature measurement of foot points on contacts during the switching process. In the valuable collaboration with the INP Greifswald plasma temperatures can be measured optically, too. The doctoral thesis of Tobias Runge, who was awarded the Walter Kertz Prize this year, is to be seen in the context of this collaboration.

In addition to the network dynamics laboratory, a DC microgrid laboratory has been set up for the investigation of low-voltage DC protection devices, enabling the construction of different network topologies. The high-performance DC laboratory with the impressive performance data of 12 kV and 30 kA will be realized next year after thorough testing of the grid connection in the substation. We are contributing our DC grid research to the full proposal of the SE2A excellence cluster *Sustainable and efficient energy in aviation*. In the HVDC Technology research group, Dr. Hemdan left the institute at the beginning of the year. He continues to work in the field of protection technology for high-voltage DC systems and we wish him much success in his new position in the industry. The research group will remain in cooperation with the Ostfalia University of Applied Sciences and we welcome Prof. Martin Könemund to this highly up-to-date research topic. We are particularly pleased about the close cooperation with PTB in the fields of explosion protection and electrical energy measurement technology. In joint doctoral projects, the influences of surface charges on the electrical strength under DC voltage load or the measurement possibilities of fast transient processes in high-voltage DC switches are being researched.

We would like to express our sincere thanks for these successes to our focus group and working group leaders who, in addition to their research work, also take time for these responsible tasks. Special thanks to Dr. Lienesch from PTB, who as mentor strongly supports the research in our focus on electromobility.

In the Institute's own *Project Management Office (PMO)*, the personnel carousel has continued to rotate at high speed. The two long-time employees Carola Schierding and Benjamin Kühn made place for young and newly arrived employees. In addition to the PMO's core competence of forming the communicative interface between the organizational levels of the institute, the team of four faced new challenges. The intensive and discussion-filled finding phase, supported, among other things, by an internal workshop with the emphasis on *agile management methods*, led to new paths in PMO. The derived results will be implemented step by step, as the new *Open-Tuesday* events already show.

We would like to point out to further events in the new year 2019. As early as February, the first EFZN Research Day will take place at the TU Braunschweig: On 19 February, scientists and especially young scientists from the EFZN locations will have the opportunity to present their research work and exchange views on current research issues. The Research Day is to be held as an annual event at the EFZN locations, focusing on energy research in Lower Saxony. Also, in 2019, the Braunschweig Superconductor Seminar, which offers an insight into the current state of development of superconductors and an opportunity for intensive dialogue between users and manufacturers, will not be omitted.

In order to build on the success of the previous nine seminars, the tenth meeting will be supplemented, as in the previous year, by the second DC technology seminar, which will expand the topic to include DC networks and their technology. These two topic complexes result in the *Braunschweig Energy Seminars* for 2019.

These are expected to take place towards the end of June. Information can be found at supraleiterseminar-elenia@tu-braunschweig.de or on the elenia homepage. We cordially invite you to these events.

Wishing for a good and successful year 2019, we would like to thank you, our partners from companies and research institutions, the lecturers, the German Research Foundation (DFG), the project sponsors, the Federal Ministries, the Volkswagen Foundation and the Ministries of Science and Culture, Environment, Energy and Climate Protection of Lower Saxony for supporting our work.

Best wishes for a successful year 2019!

Braunschweig, December 2018

Bernd Engel

Bernd Engel

Michael Kurrat

Michael Kurrat

1 Personelle Besetzung des Instituts – Staff

Vorstand (Managing Board)



Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
(Geschäftsführender Institutsleiter)



Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
(Dekan der Fakultät für Elektrotechnik,
Informationstechnik, Physik)

Professoren im Ruhestand (Retired Professors)



Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Salge

Honorarprofessoren (Honorary Professors)



Prof. Dr.-Ing. Bernhard von Gersdorff

Lehrbeauftragte (Lecturers)



Dr.-Ing. Gunnar Bärwaldt



Dr.-Ing. Johannes
Schmiesing



Dr.-Ing. Christian Schulz



Dr. Ing. Nasser Hemdan

**Akademischer Oberrat
(Academic Senior Councilor)**



Dr.-Ing. Ernst-Dieter Wilkening

**Oberingenieur
(Chief Engineer)**



Dr.-Ing. Michael Hilbert

Geschäftsstelle (Head Office)



Jacqueline Schmidt



Petra Thiele



Elke Droemer

**IT-Administration
(IT-Administration)**



Fabian Scholz

**Elektrische Werkstatt
(Electrotechnical Workshop)**



Christian Ryll
(Werkstattleitung)

Mechanische Werkstatt (Mechanical Workshop)



Kerstin Rach
(Werkstattleitung)



Frank Haake



Reinhard Meyer



Julia Musebrink



Alessa Damrath
(Auszubildende)

AG Energiesysteme – Wissenschaftlicher Leiter Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

(WG Energy Systems – Scientific Director Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel)



Julia Seidel, M.Sc.
(AG-Leitung)



Björn Osterkamp, M.Sc.
(AG-Leitung)



Dipl.-Ing. Stefanie Čelan



Dipl.-Ing. Jens Eickelmann
(ext. Doktorand,
Pion Technology AG)



Julia Gartner
(ext. Doktorandin, VW)



Henrik Herr, M.Sc.



Lily Kahl, M.Sc.



Hartmudt Köppe, M.Sc.



Ole Marggraf, M.Sc.



Gian-Luca Di Modica,
M.Sc.



Maria Nuschke, M.Sc.
(ext. Doktorandin,
Fraunhofer IWES)



Florian Rauscher, M.Sc.



Edwin Ariel Rebak, Inge-
niero Electromecánico



Christian Reinhold, M.Sc.



Jonathan Ries, M.Sc.



Dipl.-Ing. Sönke Rogalla
(ext. Doktorand, Fraunhofer
ISE)



Matthias Schmidt, M.Sc.
(ext. Doktorand, PTB)



Frank Soyck, M. Eng.



Björn Oliver Winter, M. Sc.



Dipl.-Ing. Jonas Wussow

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



Dirk Bösche, M.Sc.
(AG-Leitung)



Muhamet Alija, M.Sc.



Dipl.-Ing. Jan Bellin
(ext. Doktorand, VW)



Julia Brockschmidt, M.Sc.



Dipl.-Ing. Daniel Hauck
(ext. Doktorand, PTB)



Jan Hegerfeld, M. Sc.
(ext. Doktorant, Phoenix
Contact GmbH & Co. KG)



Dr.-Ing. Michael Hilbert



Dipl.-Ing. Nicholas Hill



Louisa Hoffmann, M.Sc.



Melanie Hoffmann, M.Sc.



Christoph Klosinski, M.Sc.



Dipl.-Ing. Tobias Kopp



Benjamin Kühn, M.Sc.



Sören Meyer, M.Sc.



Enno Peters, M.Sc.



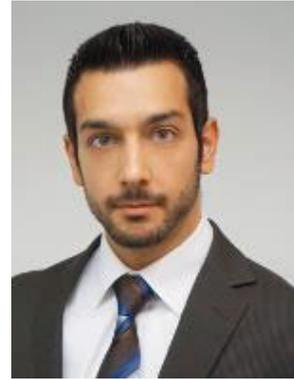
Olga Pronobis, M.Sc.



Kerstin Ryll, M.Sc.



Dipl.-Ing. Carola Schierding
(ext. Doktorandin, PTB)



Lorenz Soleymani, M.Sc.



Benjamin Weber, M.Sc.



Dr.-Ing. Ernst-Dieter
Wilkening

Neue Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen

Folgende Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind seit dem 01.01.2018 neu hinzugekommen:

(The following employees joined the institute since January 2018)

Am 01.02.2018

Melanie Hoffmann



Am 01.02.2018

Lily Kahl



Am 16.04.2018

Sören Meyer



Am 17.05.2018

Edwin Ariel Rebak



Am 01.07.2018

Björn Oliver Winter



Am 09.07.2018

Elke Droemer



Am 01.09.2018

Enno Peters



Am 01.10.2018

Gian-Luca Di Modica



Am 01.11.2018

Jan Hegerfeld



Am 01.11.2018

Julia Gartner



Wir begrüßen die neuen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen an unserem Institut herzlich und freuen uns auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit.

Ausgeschiedene Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen

Folgende Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind seit dem 01.01.2018 ausgeschieden:

(The following employees left the institute since January 2018)

Am 26.01.2018

Stefanie Adamski



Am 26.01.2018

Vincent Winkler



Am 28.02.2018

Dr-Ing. Nasser Hemdan



Am 14.03.2018

Dominik Manz



Am 31.03.2018

Tobias Runge



Am 10.06.2018

Daniel Unger



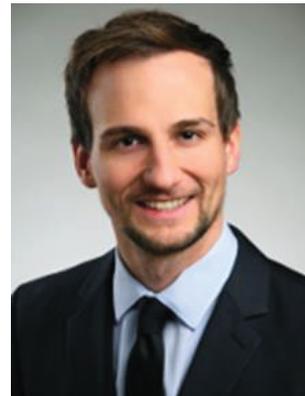
Am 30.06.2018

Hauke Loges



Am 30.06.2018

Tobias Marseille



Am 30.09.2018

Fridolin Muuß



Am 31.12.2018

Stephan Diekmann, M.Sc.



Am 31.12.2018

Jan Mummel, M.Sc.



Am 31.12.2018

Uwe Westerhoff, M.Sc.



Zusätzlich wurde unser Team im Jahr 2018 unterstützt durch Frau Kathrin Greifendorf und Herrn Fabian Ehmcke. Wir wünschen den ausgeschiedenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die Zukunft weiterhin viel Erfolg und alles Gute.

Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren seit dem 01.01.2018 tätig:

(Research assistants for the year 2018)

Altmann, Dennis	Heidebroek, Stefan	Qu, Kaifeng
Anspach, Frederik	Hemme, Tom	Riechelmann, Nina Marie
Azimzade, Ibrahim	Herman, Robin Frederik	Rinder, Patrick
Berg, Adrian	Hölk, Jan	Spohr, Alexander
Citaku, Fatos	Hugo, Marvin	Steinmann, Christoph
Claaßen, Lars	Ismar, Fabian	Stücke, Lia
Di Modica, Gian-Luca	Katschewitz, Fabian	Suchorukov, Vjaceslav
Drees, Robin	Kluge, Christin	Tiedt, Frederik
Feldt, Felten	Kopp, Juliane	von Kölln, Kristina
Flügel, Karen	Korff, Felix	Vu, David
Friese, Jana	Körte, Christian	Walker, Arnold
Garn, Till	Lakaw, Josia David	Walter, Henrik
Gerecke, Sebastian	Meyer, Sören	Wehr, Julian
Ghorbanpour Besheli, Saeed	Meyer, Timo	Wolf, Sebastian
Gitin, Ilja	Moeilsiahrodkoloai, Behrooz	Wolter, Nils
Gräfer, Nils	Naujoks, Thorben	Xu, Zexuan
Günzel, Vincent	Neutzer, Sien Wuan Sylvana	Yu, Qian
Hadlak, Mattias	Niehs, Eike	Zimmermann, Violetta
Hasse, Henrik	Özdemir, Okan	

2 Lehre – Lectures

2.1 Vorlesungen und Praktika – Lectures and Laboratories

Vorlesungstitel	Vortragender	Zeitraum
Aufbau und Berechnung von Gleichstromsystemen	Prof. Kurrat	WiSe 18/19
Aufbau und Funktion von Speichersystemen	Prof. Kurrat	SoSe 18
Doktorandenseminar Hochspannungstechnik	Prof. Kurrat	SoSe 18 WiSe 18/19
Doktorandenseminar Nachhaltige Energiesysteme	Prof. Engel	SoSe 18 WiSe 18/19
Elektrotechnik 1 für Maschinenbau	Prof. Engel	WiSe 18/19
Elektrische Bahnen	Prof. Engel	SoSe 18
Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen	Prof. Engel	SoSe 18
Elektrische Energieanlagen I	Dr. Wilkening	WiSe 18/19
Elektrische Energieanlagen II	Dr. Wilkening	SoSe 18
Energiewirtschaft und Marktintegration erneuerbarer Energien	Prof. Engel	WiSe 18/19
Fahrzeuge (Energieversorgung, Alternative Antriebe) im Rahmen der VL ÖPNV – Betrieb und Fahrzeuge (IMAB)	Prof. Engel	SoSe 18
Grundlagen der elektrischen Energietechnik	Prof. Kurrat	SoSe 18
Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure – Teil 2	Prof. Kurrat	WiSe 18/19
High Voltage Direct Current Transmission Technology	Dr. Hemdan	SoSe 18
Hochspannungstechnik I	Dr. Hilbert	WiSe 18/19
Hochspannungstechnik II	Dr. Hilbert	SoSe 18
Innovative Energiesysteme	Prof. Engel	SoSe 18
Managementmethoden für Ingenieure	Dr. Bärwaldt	WiSe 18/19
Numerische Berechnungsverfahren	Prof. Kurrat	WiSe 18/19
Studienseminar	Prof. Kurrat/ Prof. Engel	SoSe 18 WiSe 18/19
Systemtechnik in der Photovoltaik	Prof. Engel	WiSe 18/19
Technologien der Verteilungsnetze	Dr. Schmiesing	SoSe 18
Technologien der Übertragungsnetze	Dr. Schulz	WiSe 18/19
Praktika		
Innovative Energiesysteme - Praktikum	Prof. Engel	SoSe 18
Numerische Berechnungsverfahren – Rechnerpraktikum	Prof. Kurrat	SoSe 18
Analyse, Simulation und Planung von Netzen	Prof. Engel	WiSe 18/19
Labor Master Elektromobilität	Prof. Kurrat	WiSe 18/19

Aufbau und Berechnung von Gleichstromsystemen

(WiSe 18/19) 2 V, 1 Ü

Im Rahmen der Vorlesung werden Grundkenntnisse über den Aufbau und die Funktion von Gleichstromsystemen übermittelt. Nach Abschluss der Vorlesung haben die Studierenden Kenntnisse in den Bereichen:

Berechnung und Auslegung von Gleichstromnetzen • Aufbau und Betrieb von Gleichstromnetzen • Modellierung und Simulation von Gleichstromnetzen • Topologien von Industrienetzen, Inselnetzen, Bordnetzen etc. • Fehlerdetektion, -charakterisierung und -ortung • Gleichstrommesstechnik • Ein- und Ausschaltvorgänge in Gleichstromnetzen

Aufbau und Funktion von Speichersystemen

(SoSe 18/19) 2 V, 1 Ü

Im Rahmen der Vorlesung werden Grundkenntnisse über den Aufbau und die Funktion von Speichersystemen übermittelt. Sie sind über aktuelle und zukünftige Entwicklungen bei Speichersystemen informiert und können bestehende Herausforderungen formulieren. Nach Abschluss der Vorlesung haben die Studierenden Kenntnisse in den Bereichen:

Ladeinfrastruktur • Doppelschichtkondensatoren • Wasserstofftechnologie • Speicherkenngrößen / Systemauslegung • Speichertechnologien • Batteriespeicher, Alterung und Diagnostik, Recycling

Doktorandenseminar

(SoSe 18) 1 V und (WiSe 18/19) 1V

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

Schwerpunkt im SoSe 18: System Engineering

Schwerpunkt im WiSe 18/19: Aktuelle Forschungsthemen

Elektrotechnik 1 für Maschinenbau¹ (Bachelor)

(WiSe 18/19) 2 V, 1 Ü

Grundbegriffe der Elektrotechnik • Elektrostatisches Feld • Elektrischer Gleichstromkreis • Magnetisches Feld • Gleichstrommotoren • Elektrische Sicherheit

Elektrische Bahnen

(SoSe 18) 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

¹ Pflichtvorlesung für alle Studierenden des Maschinenbaus und des Wirtschaftsingenieurwesens Maschinenbau.

Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen

(SoSe 18) 1 V

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

Elektrische Energieanlagen I

(WiSe 18/19) 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

(SoSe 18) 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

Energiewirtschaft und Marktintegration erneuerbarer Energien

(WiSe 18/19) 2 V, 2 Ü

Energiewirtschaft • Energiepolitik • Gesetze und Fördersysteme • Märkte (Strommarkt 2.0, Regelleistungsmarkt) • Direktvermarktung /Bilanzkreismanagement • Virtuelles Kraftwerk - Großspeicher

Grundlagen der elektrischen Energietechnik² (Bachelor)

(SoSe 18) 3 V, 1 Ü

(gemeinsam mit Prof. Henke und Prof. Mallwitz)

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

Grundlagen der Energietechnik für Umweltingenieure - Teil 2

(WiSe 18/19) 2 V, 2 Ü

Nach Abschluss dieses Modulbestandteiles sind die Studierenden dazu in der Lage, grundlegende Kenntnisse des elektrischen und magnetischen Feldes anzuwenden. Darüber hinaus beherrschen sie die Grundzüge der Gleich- und Wechselstromnetze. Abgeschlossen wird dieses Modul mit einer Einführung in die Drehstromnetze und Erneuerbare Energien.

Hochspannungstechnik I

(WiSe 18/19) 3 V, 1 Ü

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

Energieübertragungssysteme im Umbruch • Hochspannungsnetze: Übertragungsverluste, Spannungsebenen, Verbund- und Verteilnetze • Definition der Isolationskoordination • Ent-

² Pflichtvorlesung für alle Studierenden der Elektrotechnik und des Wirtschaftsingenieurwesens Elektrotechnik.

stehung 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 18) 3 V, 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

High Voltage Direct Current Transmission Technology

(SoSe 18) 2 V, 2 Ü

The course helps the students to understand the principles of operation of HVDC systems. The course covers the basics of power electronic devices used in HVDC applications, analysis of single phase and three phase thyristor converters. Moreover, the course covers advanced topics such as control of HVDC systems, fault analysis in HVDC systems, Multiterminal operation of HVDC systems, and voltage source converter technology. In the exercises the PSCAD EMTDC software is used to simulate different converter circuits starting from simple AC and DC circuits to simulation of HVDC point to point systems.

Innovative Energiesysteme

(SoSe 18) 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 sowie Vor- und Nachteile zu benennen. Weitere Inhalte sind:

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

Managementmethoden für Ingenieure

(WiSe 18/19) 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 18/19) 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 18/19) 2 V, 1 Ü

Die Vorlesung gibt einen Überblick über die Anforderungen an die Systemkomponenten der netzgekoppelten und Inselnetz-Photovoltaikanlagen. Durch Förderprogramme und den starken Preisverfall bekommt die Photovoltaik eine wachsende Bedeutung für die elektrische Energieversorgung. Besonders wird auf die Wechselrichtertechnik und PV-Speichersysteme eingegangen.

Technologien der Verteilungsnetze (Bachelor)

(SoSe 18) 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 18/19) 2 V, 2 Ü

Übersichtsvorlesung zu den Themen: Hochspannungstechnik • Smart Grid • Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung • Drehstromsysteme • Elektrische Energieerzeugung

Studienseminare – Student Lectures

Muhamet Alija, M.Sc.

WiSe 2017/2018 „elenia - Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung - Technik - Trends“

Im Wintersemester 2017/2018 fanden insgesamt 9 Vorträge zum Thema „Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung - Technik - Trends“ im Seminarraum des elenia statt. Die Veranstaltung war auf zwei Tage aufgeteilt, den 15.01.2018 und 16.01.2018.

Tag 1

Tobias Bökers	Auswirkungen erneuerbarer Energien auf die Schutzkonzepte der 110-kV-Verteilnetzebene
Fatos Citaku	Stromabrechnung nach Leistung anstatt Energie – Was würde das bedeuten?
Till Gran	Netzdienliche Blindleistungsbereitstellung mit Elektrofahrzeugen und deren Ladeinfrastruktur
Nicklas Reinhardt	Entwicklung des Elektromobilitätsmarktes in den kommenden Jahren



Abbildung 1: Teilnehmer des Studienseminars im Wintersemester 2017/2018

Figure 1: Participants of the student lectures in winter 2017/2018

Tag 2

Manman Lu	Theoretische Ansätze und Computerprogramme zur Untersuchung von Schaltlichtbögen
Marvin Rehra	Möglichkeit der Steuerung der Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen
Timo Meyer	SF6-Alternative Leistungsschaltmedien in der Hochspannungsebene
Weiwen Weng	Fehlerdetektion in DC Microgrids
Matthias Dunkelberg	Energiewende in der Luftfahrt – Chancen und Risiken

Muhamet Alija, M.Sc.

SoSe 2018 „elenia - Studienseminar, Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung - Technik - Trends“

Im Sommersemester 2018 fanden insgesamt 23 Vorträge zum Thema „Aktuelles aus der Energietechnik: Forschung - Technik - Trends“ im Seminarraum des elenias statt. Die Veranstaltung war auf zwei Tage aufgeteilt, den 27.06.2018 und 28.06.2018.

Tag 1

Holger Teichmann	Ladeinfrastruktur in anderen Ländern
Sebastian Knieriem	Geografische Verteilung von öffentlicher Ladeinfrastruktur in Deutschland
Ann-Christin Skiba	Was steckt im Winterpaket? Inhalt und mögliche Auswirkungen auf den Strommarkt!
Daniel Rausch	Wann ist Ökostrom wirklich öko?
Okan Özdemir	Inter-Area-Oscillations: Niederfrequente Frequenzschwankungen in Europa
Michael Ochs	Frequenzstabilität von Stromnetzen mit geringer Schwungmasse am Beispiel geographischer Inseln
Tobias Ruhwedel	Blockchain in der Energiewirtschaft – Potentiale und Herausforderungen
Korbinian Pfnür	Erneuerbare Energien und die Vereinbarkeit mit der Bahnenergieversorgung
Jano Sommer	Verschiedene Blindleistungsarten – was steckt dahinter?
Lukas Radomsky	Umsetzung europäischer Vorgaben zur Präqualifikation am Regelleistungsmarkt in Deutschland

Tag 2

Julian Hahne	Supraleitung in der Schifffahrt
Muhammad Ichwandi	HVDC Connection Topologies for Offshore Wind Farms
Görz-Nikolaus Grobelny	Review of Converter Technologies for Integration of Offshore Wind Farms
Christian Kaysen	Challenges and Opportunities for a North Sea Supergrid
Dennis Altmann	E-Carsharing Konzept für den Campus
Moeilsiahrodkolai Behrooz	Energiewende trifft auf Campus
Karen Flügel	Vakuumleistungsschalter und Röntgenstrahlen – in welchen Fällen entstehen Röntgenstrahlen und welche Gefahr geht von ihnen aus?
Frederik Anspach	Modellierung realer Kurzschlussfehler zur Prüfung von Hochspannungsleistungsschaltern
Tobias Bopp	Verlegetechniken bei der Umsetzung einer Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
Julian Wehr	Prüfung, Qualifizierung und Normungswesen für Niederspannungsschalter
Qiangjing Zhai	Anoden und Kathodenfallgebiete eines Schaltlichtbogens
Umut Gülsever	Ladestationen im Gewerbe – Betrachtung des Netzanschlusses
Louis Bültemann	Plug & Charge – Technologie und Potenzial



Abbildung 2: Teilnehmer des Studienseminars im Sommersemester 2018

Figure 2: Participants of the student lectures in summer 2018

2.2 Studienarbeiten – Student Research Projects

(Bearbeitungszeit 10 Wochen)

Bente Andersson	Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern im Primärregelungsmarkt (<i>Seidel</i>)
Philip Eisele	Entwicklung eines thermischen Anemometers zur Messung von Ölströmungen unter Hochspannung (<i>Hilbert</i>)
Jörn van Leeuwen	Zusammenspiel nationaler und europäischer Vorgaben für die Regelleistungserbringung (<i>Seidel</i>)
Zeinab Shoushtari	Konzeptionierung eines Schnittstellendiagramms zur Visualisierung der Kommunikationsflüsse bei elektrischem Energiemanagement (<i>Diekmann/Reinhold</i>)

2.3 Bachelorarbeiten – Bachelor Theses

(Bearbeitungszeit 4 Monate)

Tobias Freitag	Betrachtung von Lademanagementmethoden unter Unsicherheit (<i>Pronobis</i>)
Joel Gierig	Verbrauchsanalyse von Fahrzeugen mit E-Fuels (<i>Wussow</i>)
Annika Parke	Wirtschaftlichkeitsanalyse eines zukünftigen Erzeuger-Speicher-Systems in Kombination mit E-Mobilität für den Einsatz in Prosumer-Haushalten (<i>Ries</i>)
Timo Sauer	Analyse der Auswirkungen spannungseinprägender Wechselrichter auf die transiente Stabilität in elektrischen Versorgungsnetzen (<i>Rauscher</i>)
Clemens Schmidt	Untersuchung der technischen Auswirkungen des aktiven Blindleistungsmanagements im Kontext des Netzentwicklungsplans 2017 (<i>Köppe</i>)
Mike Skroch	Untersuchung der Netzintegration und des Betriebes der Ladepunkte auf dem Flottenparkplatz bei BS Energy (<i>Wussow</i>)
Simon Wagner	Simulationsgestützte Analyse der Interaktionspotenziale von Spannungsreglern im Verteilungsnetz am Beispiel der Transformatorregelung und der Q(U)-Regelung (<i>Marggraf</i>)
Zexuan Xu	Untersuchungen der Monte-Carlo-Methode im Zusammenhang der Minimierung von Unsicherheiten bei einem Lademanagement (<i>Pronobis</i>)
Dustin Yildiz	Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Aspekte des aktiven Blindleistungsmanagements auf Anlagen- und Parkebene (<i>Köppe</i>)

2.4 Masterarbeiten – Master Theses

(Bearbeitungszeit 6 Monate)

Cornelius Biedermann	Marktanalyse und zukünftige Entwicklungen von Netzanschlusskonzepten für Offshore Windparks mittels HGÜ (<i>M.Hoffmann</i>)
Gerrit Braun	Modellierung der leitungsgebundenen Störaussendung von PV-Wechselrichtern unter Berücksichtigung parasitärer Effekte (<i>Rauscher</i>)
Danting Cao	Flotten-Lademanagement - Entwicklung des Charge Control im Backend elias 2.0 (<i>Pronobis</i>)
Fatos Citaku	Entwicklung einer Methode zur Ladungsträgererzeugung im tiefkalten Stickstoff (<i>Hill</i>)
Gian-Luca Di Modica	Konzeptionierung und Umsetzung einer Laborladesäule mit netzdienlichen Funktionen (<i>Wussow</i>)
Fatih Durmaz	Data Mining Konzept für die elektrochemische Bewertung von Lithium-Ionen Batterienzellen (<i>L.Hoffmann</i>)
Juan Pablo M. Fernandez	Economic evaluation of different competing technologies for reactive power management in distribution and transmission networks (<i>Köppe</i>)
Sieko Finke	Sekundäre Geschäftsmodelle einer Flottenladeinfrastruktur (<i>Osterkamp/Pronobis</i>)
Rolf Fischer	Konzeptionierung, Entwicklung und Integration eines dynamischen Flottenlademanagements mit Nutzerspezifikationen (<i>Pronobis</i>)
Mariano Iván Rojas Flores	Development and implementation of a voltage maintenance strategy with reactive power management in distribution systems (<i>Köppe</i>)
Jiaying Gao	Simulation-based investigation of direct current systems in ICT-based buildings (<i>Soleymani</i>)
Moritz Götzinger	Wie sieht die Ladeinfrastruktur der Zukunft aus - Analyse der Herausforderungen und Entwicklung von Zukunftsszenarien (<i>Pronobis</i>)
Laura Gredner	„Hot-Spot-Analyse“ historischer Versorgungsunterbrechungen im Mittelspannungsnetz der Avacon Netz GmbH (<i>Kahl/Wussow</i>)
Christoph Hagedorn	A-Muster Konstruktion eines Heat-Pipe unterstützten Temperierungssystems für das Thermomanagement in Hochvolt-Batteriesystemen für den Modulare Elektrifizierungsbaukasten der Volkswagen AG (<i>Westerhoff</i>)

Julian Hahne	Implementierung der Kalibriermöglichkeiten für hohe Gleichspannungen bis 800kV in das Qualitätsmanagementsystem der PTB (<i>Meisner/Passon</i>)
Lasse Hass	Systematische Untersuchung von Einflussfaktoren auf die DRT-Methode zur Auswertung von Impedanzspektren einer Li-Ion Batterie (<i>Westerhoff</i>)
Jonas Hattwig	Konzeptentwicklung und ganzheitliche Bewertung autarker Energie-Effizienz-Quartiere (<i>Diekmann/Reinhold</i>)
Melanie Hoffmann	Innovative Offshore Wind Farm Connection Concepts using Different HVDC Converter Technologies (<i>Hemdan</i>)
Huiyuan Hu	Simulationsbasierte Untersuchungen zur Integration von Elektrofahrzeugen in DC Microgrids (<i>Soleymani</i>)
Alban Kammeni	Entwicklung eines Verfahrens zur Parameterbestimmung eines thermischen Modells von Lithium-Ionen Batteriepackzellen (<i>Hauk</i>)
Malte Langner	Potentialanalyse der Bereitstellung von Flexibilität durch ein vernetztes Energiemanagementsystem auf Verteilnetzebene unter Berücksichtigung des volkswirtschaftlichen Nutzens (<i>Diekmann/Reinhold</i>)
Xufeng Li	Simulationsbasierte Untersuchungen der Einflussnahme von Elektrofahrzeugen auf die Spannungsqualität in zukünftigen Niederspannungsverteilnetzen (<i>Soleymani</i>)
Johannes Mansfeld	Entwicklung einer flexiblen Montageanlage zur Fertigung formvariabler Lithium-Ionen-Batterien für Laboranwendungen (<i>Westerhoff</i>)
Maximilian Marschall	Erarbeitung eines Konzepts zur Wärmeableitung aus Zellen in Batteriesystemen - Untersuchung verschiedener Materialien und Möglichkeiten der Applikation, Bewertung und Validierung (<i>Westerhoff</i>)
Jana Messmer	Analyse und Optimierung des Einsatzes von Netzersatzanlagen im Netzgebiet der Avacon Netz GmbH (<i>Kahl/Wussow</i>)
Thomas Nagl	Technisch-wirtschaftliche Potentialanalyse einer schnellen Primärregelung in Deutschland (<i>Seidel/Rauscher</i>)
Lukas Otte	Simulationsgestützte Analyse der Interaktionspotenziale von Spannungsreglern im Niederspannungsnetz für den gestörten und ungestörten Netzbetrieb (<i>Marggraf</i>)
P. Puy Perez de Laborda	Voltage Stability Improvement by Reactive Power Management with Variable Renewable Energy Power Plants (<i>Köppe</i>)

Enno Peters	Entwicklung einer softwarebasierten Analyse der Strahlungsintensitätsverteilung von Hochstrom-Vakuumbögen zwischen Transversal-Magnetfeld-Kontakten (<i>Weber/Pieniak</i>)
Anne Preißler	Anwendbarkeitsstudie der elektrochemischen Impedanzspektroskopie zur modellbasierten Bestimmung von elektrischen Leistungsdaten einer Li-Ion Batteriezelle (<i>L.Hoffmann/Westerhoff</i>)
Dennis Schilling	Untersuchung der Blitzstoßspannungsfestigkeit einer Feldsteuerung für Hochspannungskomponenten (<i>Kühn/Weber</i>)
Juri Scholten	Rechnergestützte Auslegung von Smart Home Systemen (<i>Reinhold</i>)
Yannick Schubert	Entwicklung und Aufbau einer Heizkreis- und Brauchwasseremulation eines Wärmepumpenteststands (<i>Čelan</i>)
Lars Schulz	Die Bedeutung von stationären Batteriespeichersystemen und Energiedienstleistungen für die Elektromobilität im Rahmen der Energiewende (<i>Wussow</i>)
Malte Stoebel	Optimierte Netzanbindung von HPC-Ladestationen auf Autobahnraststätten (<i>Wussow</i>)
Luca Torrisi	Entwicklung und Analyse unterschiedlicher Prognoseverfahren für Prosumer-Haushalte (<i>Čelan</i>)
Markus Untiedt	Entwicklung eines Ladesäulenmodells mit netzdienlichem Verhalten in Powerfactory (<i>Wussow</i>)
Martin Wissel	Entwicklung eines Batterieauslegungstools für Mobilitätsanwendungen (<i>Brockschmidt</i>)
Weiwen Wenig	Fehlerdetektion und -analyse in Niederspannungs-Gleichstromnetzen (<i>Klosinski</i>)
Sebastian Wermuth	Konzeptionierung und Validierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Informationssicherheit in der Sekundärtechnik am Beispiel eines Verteilnetzbetreibers (<i>Diekmann/Osterkamp</i>)
Sebastian Wolf	Entwicklung eines Regelkonzeptes für das Blindleistungsmanagement im aktiven Verteilnetz (<i>Köppe</i>)
Qiangjing Zhai	Faserverbundwerkstoff kombiniert mit Feststoffbatterien: Herstellung und Charakterisierung (<i>L.Hoffmann</i>)

3 Berichte aus Forschung und Entwicklung – Abstracts on Research Projects

Arbeit der Schwerpunkte im elenia

Dipl.-Ing Stefanie Čelan; Hartmut Köppe, M.Sc.; Benjamin Kühn, M.Sc.; Ole Marggraf, 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). Diese werden jeweils von einem Mentor betreut und von der Schwerpunktleitung koordiniert.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick der Schwerpunkte gegeben und anschließend erfolgt eine ausführlichere Beschreibung der einzelnen Forschungsfelder.

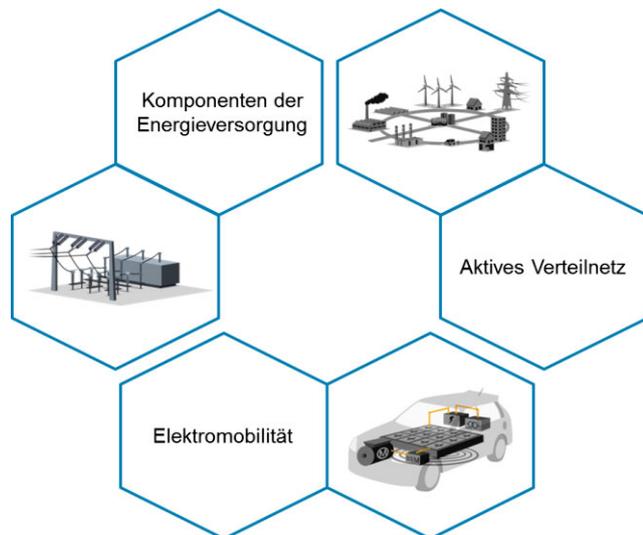


Abbildung 3: Forschungsschwerpunkte

Figure 3: Research focus groups

Schwerpunkt: Komponenten der Energieversorgung

Mentor: Prof. Kurrat

Schwerpunktleitung: Tobias Runge (bis 03/2018),
Benjamin Kühn (ab 04/2018)

Im Schwerpunkt *Komponenten der Energieversorgung* werden Forschungsthemen im Bereich der Hochspannungstechnik und der Schaltgerätetechnik in der Nieder- bis zur Hochspannungsebene bearbeitet. Aktuell werden im Bereich der Hochspannungstechnik Untersuchungen zu Durchschlagsmechanismen in tiefkalten Gasen, zu Teilentladungen und zur Elektrostatik durchgeführt. Im Bereich der Schaltgerätetechnik werden Schutzkonzepte vom inneren Blitzschutz bis zum koordinierten Schutz in Gleichstromsystemen untersucht. Weiterhin wird intensiv an der Technologie von Schaltgeräten in der Niederspannungsebene (Gleichstromschalter in Hybridtechnologie) geforscht. In diesem Kontext wird ein neues Gleichstrom-Hochleistungsprüffeld aufgebaut, welches uns ermöglicht auch in Bereichen höherer Leistungen Untersuchungen durchzuführen. Bei den Leistungsschaltern konzentrieren wir uns auf den Vakuumschalter. In Untersuchungen mit unserem AC-Leistungsprüffeld konzentrieren wir uns auf optische Untersuchungen des Vakuumbogens.

Schwerpunkt: Elektromobilität

Mentor: Dr. Lienesch (PTB)

Schwerpunktleitung: Jan Mummel

Der Forschungsschwerpunkt *Elektromobilität* konnte mit dem vom BMBF geförderten internationalen Projekt *BatterieSicherheitsStandardisierung (BaSS)* ein weiteres wichtiges Projekt für die wachsende Forschergruppe Batterietechnik einwerben. Das Ziel des Projekts ist die sicherheitstechnische Auslegung von Pouchzellen mit zukünftigen High-Performance-Materialien. Der Fokus liegt dabei auf der Standardisierung von Format und Prüfverfahren. Durch die Erarbeitung der Harmonisierung der Anforderungen aus dem deutschen und chinesischen Markt in Korrelation mit den zugehörigen Sicherheitstests soll eine Standardisierung der Pouchzellformate erfolgen. Die Bearbeitung des Projektes erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der PTB. Weiterhin konnte die intensive Zusammenarbeit mit BS Energy und BS Netz sowie die erfolgreiche Kooperation mit der Arbeitsgruppe Elektrochemie und elektrochemische Energiespeicher der PTB fortgeführt werden.

Schwerpunkt: Aktives Verteilnetz

Mentor: Prof. Engel

Schwerpunktleitung: Stefanie Čelan, Hartmudt
Köppe, Ole Marggraf

Im Schwerpunkt *Aktives Verteilnetz* wird in verschiedenen öffentlich geförderten Forschungsprojekten an Themen der Netz-, Markt- und Systemintegration erneuerbarer Energieanlagen, Speichersystemen und neuen Verbrauchern, wie Elektrofahrzeugen und Power-to-Heat-Anwendungen gearbeitet. Ziel ist die effiziente Umsetzung der Energie-, Mobilitäts- und Wärmewende. Im Fokus stehen dabei die Aspekte der Systemdienstleistungen, wie die Entwicklung neuer Verfahren zur Netzregelung und Spannungshaltung. Der Aufbau von Energiemanagementkonzepten für Ein- und Mehrfamilienhäuser und die Integration von Batteriespeichern werden ebenso thematisiert. Weiterhin werden neue Marktmodelle erarbeitet, welche die Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus Windkraft- und PV-Anlagen ermöglichen.

Research focus groups at elenia

Dipl.-Ing. Stefanie Čelan; Hartmut Köppe, M.Sc.; Benjamin Kühn, M.Sc.; Ole Marggraf, M.Sc.; Jan Mummel, M.Sc.

In order to strengthen the scientific exchange and to plan the strategic orientation of the institute, three research focus groups were established at elenia (figure 3). Each of these is supervised by a mentor and coordinated by the head of the priority area.

In the following, a brief overview of the focal points of the topics is given, followed by a more detailed description of the individual research fields.

Focus Group: Components for Power Supply

Mentor: Prof. Kurrat

Focus group leaders: Tobias Runge (until 03/2018),
Benjamin Kühn (since 04/2018)

In the focus Components of Energy Supply, research topics in the field of high-voltage technology and switchgear technology in the low to high voltage range are dealt with. In the field of high-voltage technology, investigations are currently being carried out into breakdown mechanisms in cryogenic gases, partial discharges and electrostatics. In the field of switchgear technology, protection concepts ranging from internal lightning protection to coordinated protection in direct current systems are investigated. Furthermore, intensive research is carried out on the technology of switchgear at the low-voltage level (direct current switches in hybrid technology). In this context, a new DC high-power test field is being set up, which will enable us to carry out investigations in areas with higher powers as well. With regard to circuit-breakers, we are concentrating on the vacuum switch. In investigations with our AC power test field, we concentrate on optical investigations of the vacuum arc.

Focus Group: Electric Mobility

Mentor: Dr. Lienesch (PTB)

Focus group leader: Jan Mummel

With the international project BaSS-Battery Safety Standardisation funded by the BMBF, the research focus Electromobility was able to acquire another important project for the growing research group Battery Technology. The aim of the project is the safety-related design of pouch cells with future high-performance materials. The focus is on the standardization of format and test procedures. Standardization of the pouch cell formats is to be achieved by harmonizing the requirements from the German and Chinese markets in correlation with the associated safety tests. The project is being worked on in close cooperation with PTB. Furthermore, the intensive cooperation with BS Energy and BS Netz as well as the successful cooperation with the working group electrochemistry and electrochemical energy storage of PTB could be continued.

Focus Group: Smart Grids

Mentor: Prof. Engel

Focus group leaders: Stefanie Čelan, Hartmudt Köppe,
Ole Marggraf

In the focus Active Distribution Grid, various publicly funded research projects are working on topics of grid, market and system integration of renewable energy systems, storage systems and new consumers, such as electric vehicles and power-to-heat applications. The aim is the efficient implementation of the energy, mobility and heat transition. The focus here is on the aspects of system services, such as the development of new processes for grid control and voltage maintenance. The development of energy management concepts for single-family and multi-family houses and the integration of battery storage systems will also be addressed. Furthermore, new market models will be developed which enable the provision of system services from wind power and PV plants.

3.1 Komponenten der Energieversorgung – Components for Power Supply

Mentor: Prof. Kurrat

Schwerpunktleitung: Tobias Runge (bis 03/2018),
Benjamin Kühn (ab 04/2018)

Untersuchungen von Blitzstromableitern basierend auf Funkenstreckentechnologie nach Stoßstrombelastung

Enno Peters, M.Sc.; Jan Hegerfeld, M.Sc.

Blitzstromableiter (Typ 1 Ableiter) dienen als Grobschutzelement für den sicheren Betrieb von elektrischen und elektronischen Geräten. Sie begrenzen die infolge eines Blitzeinschlages oder Schalthandlungen im Netz auftretenden Überspannungen. Bei Blitzstromableitern, basierend auf der Funkenstreckentechnologie, wird in dem Ableiter bei einer charakteristischen Überspannung ein Lichtbogen zwischen zwei Elektroden gezündet. Diese stellt einen temporären Kurzschluss zur Erdungsanlage her, wodurch ein Potentialausgleich geschaffen wird und die hohen Energien der Blitzentladung abgeleitet werden. Die Anforderungen an moderne Blitzstromableiter umfassen, neben dem eigentlichen Ableitvorgang und dem damit verbundenen hohen Energieabsorptionsvermögen, ein hohes Ausschaltvermögen. Aufgrund des Kurzschlusses entstehen Wechselwirkungen mit dem angeschlossenen Versorgungsnetz, sodass auftretende Netzfolgestrome eine vorgelagerte Sicherung auslösen oder das Überspannungsschutzgerät teilweise zerstören können. Deshalb ist das Ausschaltvermögen besonders zu untersuchen, welches die Fähigkeit des Ableiters beschreibt, nach dem Zünden den auftretenden Netzfolgestrom selbstständig zu unterdrücken.

Für die Untersuchungen stehen am elenia unterschiedliche Stoßspannungs- und Stoßstromgeneratoren zur Verfügung. Besonders hervorzuheben ist das Blitzschutzlabor. In diesem können, zusätzlich zu einem Stoßstromkreis, ein Niederspannungsnetz nachgebildet werden. Hierdurch können der Stoßstrom sowie der Netzfolgestrom betrachtet werden.

In Abbildung 4 ist das vereinfachte Prinzipschaltbild des Labors dargestellt. Der Stoßstrom wird mit Hilfe eines Stoßstromgenerators erzeugt (1). Hierbei können 8/20 μ s Impulse mit bis zu 25 kA aber auch 10/350 μ s Impulse mit bis zu

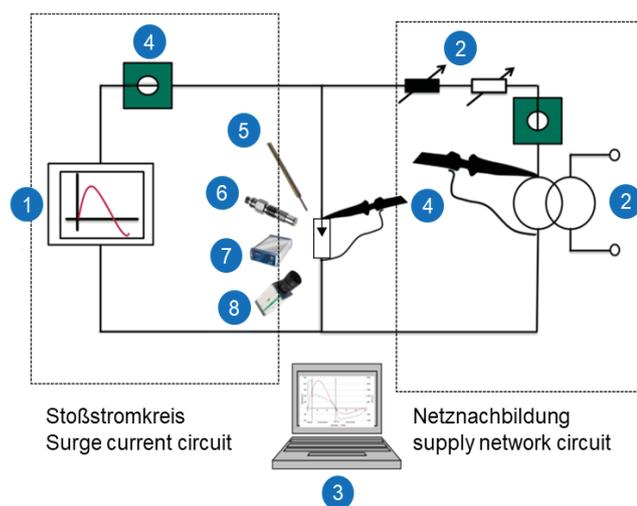


Abbildung 4: Prinzipschaltbild und Messsonden des Blitzschutzlabors.

Figure 4: Schematic diagram and measuring probes of the laboratory.

600 A erzeugt werden. Die Netznachbildung geschieht mittels drei parallel geschalteten 130 kVA Transformatoren, welche über optische Sequenzer potentialgetrennt zugeschaltet werden können (2). Zur Einstellung des ohmsch-induktiven Verhältnisses der Netznachbildung stehen Widerstands- sowie Induktivitätsbänke zur Verfügung (2). 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 (3). Weiterhin stehen diverse Messeinrichtungen zur Verfügung wie beispielsweise Pearsonspulen und Hochspannungstastköpfe (4), Potentialsonden (5), Drucksensoren (6), ein Spektrometer (7) und eine High-Speed-Kamera (8).

Das Ziel der Forschung ist es, die Plasmaeigenschaften unter Stoßstrombelastung zu untersuchen. Mithilfe der in Abbildung 4 beschriebenen Messtechnik findet eine experimentelle Untersuchung statt. Daraus resultieren Modelle, die wiederum mit Simulationen verglichen werden können. Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Druck, Temperatur und Leitfähigkeit des Plasmas einordnen und damit das Plasmaverhalten analysieren. Weiterhin ist das Plasmaverhalten unter Einfluss des Netzfolgestroms ein wesentlicher Bestandteil der Forschung. Die Forschung ermöglicht es, die Funkenstreckenableiter zu charakterisieren und damit eine zielgerichtete Entwicklung des Überspannungsschutzes zu gewährleisten.

Investigations on surge arresters based on the spark gap technology

Enno Peters, M.Sc.; Jan Hegerfeld, M.Sc.

Lightning current arresters (type 1) protect electrical and electronic equipment against overvoltage in case of a lightning strike. In arresters based on the spark gap technology, an electric arc is ignited between two electrodes. This creates a temporary short-circuit to the earthing system, which creates potential equalisation. Due to the short-circuit interactions with the connected supply network the follow current could lead to the tripping of fuses or the destruction of the arrester. For this reason, the switch-off behaviour, which describes the ability of the arrester to automatically suppress the main follow current after ignition, must be examined in detail.

To investigate spark gaps the “lightning protection laboratory” is used (figure 4). Different surge currents of 8/20 μ s with an amplitude of 25 kA and 10/350 μ s with 600 A can be generated using a surge current generator (1). The distribution grid is simulated by three 130 kVA transformers, resistors and inductivities (2). For the measurements five optical separated measurement probes can be used (3). Furthermore different measurement equipment like current and voltage measurement systems (4), potential probes (5), pressure sensor (6), spectrometer (7) and high-speed-camera (8) are available.

The aim of the research is to investigate the plasma properties under surge current load. In depth, they are analysed by simulations and experimental setups. From the knowledge gained,

the pressure, temperature and conductivity of the plasma can be classified and the plasma behaviour can be analysed. Furthermore, the plasma behaviour under the influence of the main follow current is part of the research. The research makes it possible to characterize the spark gap arresters to ensure a targeted development of the surge protection.

Innovative Schutzkonzepte und -systeme zur effektiven Fehlerunterbrechung in zukünftigen Niederspannungs-Gleichstromnetzen

Christoph Klosinski, M.Sc.

Der weitere Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen stellt neue Anforderungen an den Netzausbau und -umbau. Ziel des im Februar 2018 abgeschlossenen Forschungsprojektes *Smart Modular Switchgear (SMS)* war es, langfristig die Sicherheit der Stromversorgung im Bereich der Gleichspannungsnetze zu verbessern. Das Ziel dieses Projektes war die Erforschung und Entwicklung von innovativen Schalt- und Schutzkonzepten für den Einsatz in Niederspannungs-Gleichstromnetzen.

Vorgegebene Hauptziele waren die Planung, Konzeptionierung, Umsetzung und Simulation eines Schutzkonzepts für Nieder- und Mittelspannungs-Gleichstromnetze. Weitere Ziele waren die Umsetzung und Validierung eines eigens entwickelten modularen Schutzsystems zur schnellen und effektiven Abschaltung von Überlast- und Kurzschlussströmen. Der Schutz wird auf Grundlage einer messtechnischen Erfassung von Strom- und Spannungswerten, welche direkt an den Schaltgeräten erfasst und an spezifischen Punkten im Netz installiert werden, gewährleistet. Anhand einer übergeordneten Schutzeinheit werden die gemessenen Werte digitalisiert, weiterverarbeitet und in eigens-entwickelten Schutzalgorithmen zur schnellen und sicheren Fehlerdetektion, Fehlercharakterisierung, Fehlerlokalisierung und selektiven Fehlerunterbrechung eingesetzt. Das aus einer Schutzeinheit und modularen Schalteinheiten bestehende neuartige Schutzsystem wurde auf Mikro- und FPGA-Controller-basierten Hardware-Plattformen umgesetzt und in verschiedensten Netzkonfigurationen getestet (Abbildung 5). Im Ergebnis wird das selektive Abschaltverhalten im Fehlerfall deutlich verbessert und eine zuverlässigere Fehlerdetektion ermöglicht.

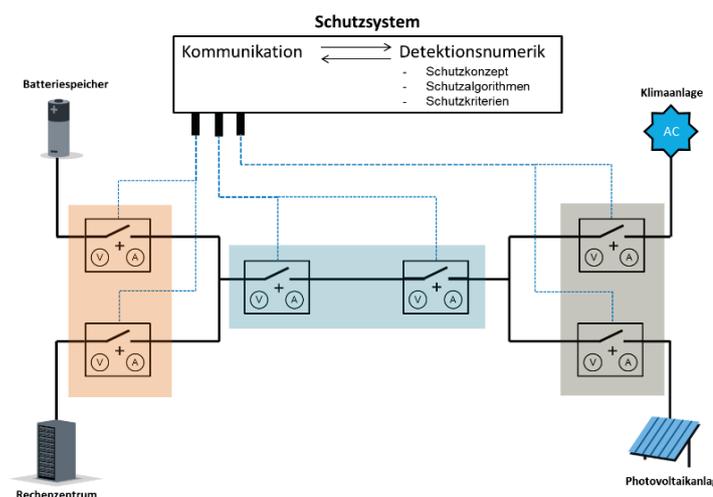


Abbildung 5: SMS-Schutzkonzept
Figure 5: Protection concept of SMS

Innovative protection concepts and systems for effective fault interruption in future low-voltage DC networks

Christoph Klosinski, M.Sc.

The project Smart Modular Switchgear (SMS) focused on the research and development of innovative switching and protection concepts for use in low-voltage direct current networks. The main objectives were design, conception, implementation and simulation of a protection concept for low and medium voltage direct current networks. Further objectives were the implementation and validation of a self-developed modular protection system for fast and effective interruption of overload and short-circuit currents. The protection is provided based on a metrological recording of current and voltage values, which are recorded directly at the switchgear and installed at specific points in the network. The measured values are digitized, processed and used in self-developed protection algorithms for fast and reliable fault detection, fault characterization, fault localization and selective fault interruption based on a unit-based protection. The novel protection system consisting of a protection unit and modular switching units was implemented on micro- and FPGA-controller-based hardware platforms and tested in various network configurations (figure 5). As a result, the selective switch-off behavior in the event of a fault is significantly improved and more reliable fault detection is provided.

Entwicklung eines Hybridschalters im Zuge des Forschungsprojektes UPS

Muhamet Alija, M.Sc.; Dirk Bösche, M.Sc.; Dipl.-Ing. Tobias Kopp

Im Projekt *Universal Power Switch (UPS)* werden die Vorteile eines mechanischen Schalters und eines Halbleiterschalters in Form eines verschleißarmen und kompakten Hybrid-Leistungsschalters zur Integration von erneuerbaren Energien zusammengeführt. Bei dem mechanischen Teil des Hybridschalters liegt der Fokus auf einer schnellen Wiederverfestigung der Schaltstrecke. Der Hybridschalter soll sowohl eine hohe Nennspannung bis 1000 V sicher isolieren als auch einen Nennstrom von bis zu 300 A tragen. Dabei ist der mechanische Teil des Hybrid-schaltgerätes zum Schalten von Kurzschlussströmen vorgesehen. Kurzschlussströme von mindestens 5 kA sollten zuverlässig ausgeschaltet werden. Schaltvorgänge im Nennstrombereich werden von dem Leistungselektronischen Teil des Schaltgerätes übernommen.

Zur Untersuchung des Lichtbogenverhaltens des mechanischen Teils sind unterschiedliche Betriebszustände untersucht worden (Kurzschluss, Überstrom und Nennstrom). Im Rahmen der orientierenden Untersuchungsreihen, ist der erste Prototyp des mechanischen Schaltgerätes für die unterschiedlichen Betriebszustände erfolgreich in Betrieb genommen worden. Im Rahmen dieser Untersuchungsreihe sind Optimierungsmöglichkeiten erkannt und in einem überarbeiteten Modellschalter umgesetzt worden (Abbildung 6). Auf Basis dieses Modellschalters werden aktuell Folgeuntersuchungen durchgeführt.

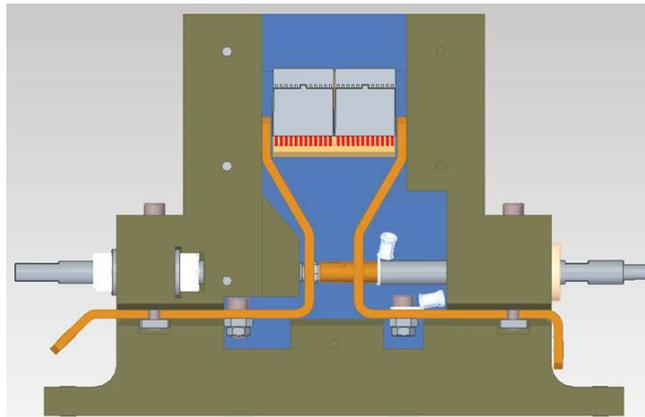


Abbildung 6: Entwurf der mechanischen Schaltstrecke

Figure 6: Design of the mechanical switching path

Im Zuge der Entwicklung der Hybridelektronik wurden die Schalteigenschaften und insbesondere die Impulsbelastbarkeit der Leistungshalbleiter näher untersucht. Hierbei konnte bei einigen IGBTs durch eine Steigerung der Steuerspannung eine Erhöhung des maximal zu schaltenden Laststromes erreicht werden. Durch die Messung des Abkühlvorgangs des Substrates konnten gleichzeitig Rückschlüsse über die thermische Kapazität und somit die Impulsbelastbarkeit der Halbleiter gewonnen werden. Diese Erkenntnisse helfen bei der Auslegung der Hybridelektronik im Zusammenspiel mit der mechanischen Schaltstrecke.

Development of a hybrid switch as part of the UPS project

Muhamet Alija, M.Sc.; Dirk Bösche, M.Sc.; Dipl.-Ing. Tobias Kopp

The *Universal Power Switch (UPS)* project combines the advantages of a mechanical switch and a semiconductor switch in the form of a wear-resistant and compact hybrid circuit breaker for the integration of renewable energies. With the mechanical part of the hybrid switch, the focus is on rapid reconsolidation of the switching path. The hybrid switch should safely insulate high rated voltages up to 1000 V as well as carry a rated current of up to 300 A. The mechanical part of the hybrid switchgear is designed for switching short-circuit currents. Currents of at least 5 kA can be reliably switched off here. Switching operations in the rated current range are taken over by the power electronic part of the switching device.

Different operating states (short circuit, overcurrent and rated current) have been investigated in order to determine the arc behavior in the mechanical part. The first prototype of the mechanical switchgear for the load cases was successfully put into operation within the framework of the orienting investigation series. Within the scope of this investigation series, optimization possibilities have been identified and implemented in a revised model switch, figure 6. Follow-up investigations are currently being carried out based on this model switch.

In the course of the development of hybrid electronics, the switching characteristics and in particular the pulse carrying capacity of the power semiconductors were examined more closely. In some IGBTs it was possible to increase the maximum load current to be switched by increasing the control voltage. By measuring the cooling process of the substrate, conclusions could simultaneously be drawn about the thermal capacity and thus the pulse load capacity of the semiconductors. These results help in the design of the hybrid electronics in interaction with the mechanical switching path.

Aktueller Stand der Forschungen im Bereich der Vakuumschalttechnik

Benjamin Weber, M.Sc.; Benjamin Kühn, M.Sc.

Innerhalb der Forschung im Bereich Vakuumschalttechnik wird das Verhalten von langen Metalldampfbögen im Vakuum untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen liefern einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des Vakuum-Leistungsschalters. Um die Analysen durchführen zu können wurde ein neuer Vakuum-Versuchsschalter konstruiert und von der institutseigenen Werkstatt aufgebaut.

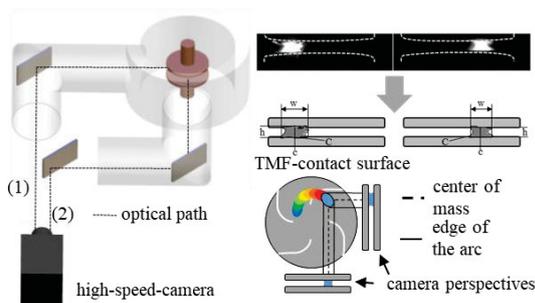


Abbildung 7: Automatische Bogenerkennung und Positionsbestimmung
 Figure 7: Automated arc recognition and positioning

Um das Verhalten von Vakuumbögen während des Ausschaltvorgangs aussagekräftig beschreiben zu können, wird der Bogen über eine Winkelanordnung von zwei Seiten mit einer Hochgeschwindigkeitskamera beobachtet. Die entstehenden Aufnahmen werden zu diesem Zweck software-basiert ausgewertet. Die Beobachtung des Verhaltens kann so über viele Versuche reproduzierbar beschrieben werden, anstatt sich auf die Beobachtung einzelner Phänomene zu beziehen (siehe Abbildung 7). Diese Methode wird in Zukunft dazu genutzt, um die Plasmaeigenschaften

bei variablen Hüben an dem neuen Vakuumschalter zu beschreiben. Die Weiterentwicklung wurde im Rahmen der Masterarbeit von Enno Peters vorangetrieben und wird in Zukunft in einem gemeinsamen Projekt mit dem HST Darmstadt fortgeführt.

Neben den Untersuchungen zum Bogenverhalten im Vakuum stehen seit kurzem externe Störeinflüsse und deren Wechselwirkung mit dem Leistungsschalter im Fokus der Forschungstätigkeit. Die Modellanordnung (Abbildung 7 links) besteht aus der Reihenschaltung von zwei konventionellen Vakuumkammern.

Diese werden in offener Schaltstellung mit einer Blitzstoßspannung belastet. Im Idealfall teilt sich die belastende Spannung symmetrisch auf. Wird die Anordnung allerdings in der Nähe einer geerdeten Komponente aufgebaut oder in einer gasisolierten Schaltanlage eingesetzt, so verändert sich die Spannungsverteilung. Die Untersuchungen zeigen, dass im unvorteilhaftesten Fall eine Spannungsverteilung von 70 % zu 30 % entstehen kann. In Abbildung 8 (von links nach rechts) wird der Ansatz einer zusätzlichen Schirmanordnung in einer separaten Vakuumkammer dargestellt. Durch eine gezielte Schirmung und eine Verkopplung der Schirme untereinander kann die Spannungsaufteilung unabhängig von externen Einflüssen, symmetrisch gehalten werden. Derzeit wird die Anordnung in einem großen Vakuumrezipienten untersucht.

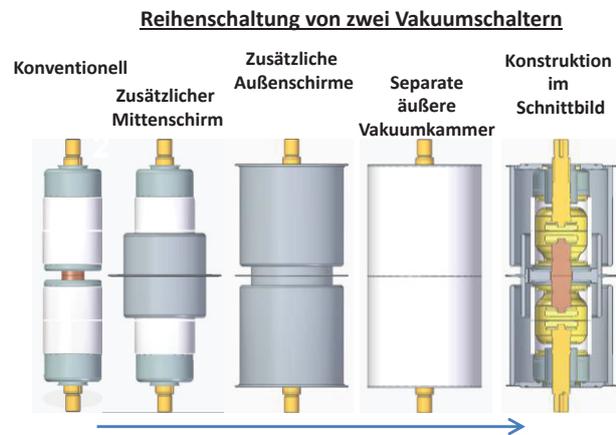


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer zusätzlichen Schirmanordnung für Vakuum-Leistungsschalter

Figure 8: Schematic view of additional screening for vacuum circuit breaker

Current state of research in the field of vacuum switching technology

Benjamin Kühn, M.Sc.; Benjamin Weber, M.Sc.

We want to investigate the behaviour of long metal vapour arcs in a vacuum. The results of these investigations make an important contribution to the further development of the vacuum circuit-breaker. A new test vacuum circuit-breaker was designed and set up by the institute's own workshop in order to be able to push the investigations.

In order to be able to describe the behaviour of vacuum sheets during the switch-off process in a meaningful way, the arc is observed from two sides with a high-speed camera using an angle arm arrangement. The resulting images are evaluated by software for this purpose. The observation of the behavior can thus be described reproducibly by many experiments instead of referring to the observation of individual phenomena. In the future, this method will be used to describe the plasma properties at variable strokes on the new vacuum switch. Enno Peters pushed the further development of this method during his master thesis and will continue it in the future in a joint project with the HST Darmstadt.

In addition to our investigations on arc behaviour in vacuum, we have recently also been investigating external disturbances and their interaction with the circuit-breaker. Our model arrangement (figure 8, left) consists of two conventional vacuum chambers connected in series. These are stressed with a lightning impulse voltage in open switch position. Ideally, the stressing voltage is distributed symmetrically. However, if the arrangement is set up close to a grounded component or used in a gas-insulated switchgear, the voltage distribution changes. Our investigations show that in the worst case scenario a voltage distribution of 70 % to 30 % can occur. Figure 8 (from left to right) shows the approach of an additional shielding arrangement in a separate vacuum chamber. The combination between a shielding and a coupling of the shields under each other, the voltage distribution can be kept symmetrical independent of external influences. The arrangement in a large vacuum recipient is currently being investigated.

Temperaturabhängige dielektrische Festigkeit von Isoliermaterialien

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

Die Belastungen, welche für elektrotechnische Geräte zu erwarten und zu widerstehen sind, sind bereits seit vielen Jahren in den Normen wie beispielsweise VDE und IEC vorgeschrieben. Jedoch befinden sich diese Normen, auch aufgrund der konstanten Weiterentwicklung der Geräte und damit Änderung der Bedingungen, im ständigen Anpassungsprozess. Eine mögliche Anpassung, welche mittlerweile auch im IEC Komitee TC 42/MT 18 diskutiert wird, behandelt eine mögliche Prüfung von Niederspannungsgeräten auf Teilentladungen (TE). Bisher waren Prüfungen auf TE nicht vorgeschrieben, jedoch konnte bei Untersuchungen am elenia festgestellt werden, dass der TE Einsatz bei Niederspannungsgeräten unter erhöhten Betriebstemperaturen im Bereich der Betriebsspannung liegen kann und somit dauerhaft TE auftreten können. Dauerhafte TE sind eine Form der Alterung und können zum verfrühten Geräteausfall führen. Die erhöhten Temperaturen können dabei in abgeschlossenen kleinen Räumen wie Schaltschränken entstehen, insbesondere unter der Intention, immer mehr und kompaktere Geräte auf kleinerem Raum unterzubringen.

Da sich das TE-Verhalten, wie am elenia beobachtet wurde, mit der Temperatur ändert, liegt es nahe, dass sich auch das Verhalten des Isolierstoffs mit der Temperatur ändert. Eine charakteristische Größe die besonders für die Isolationskoordination relevant ist, ist die Durchschlagspannung. Am Institut wurde bereits im letzten Jahr das Prüfgefäß für Durchschlagfestigkeitsprüfungen in Luft bis 150°C, und damit Temperaturen über dem Flammpunkt von Isolierölen (Bsp. 138°C) welche in den Normprüfungen verwendet werden, entwickelt und aufgebaut. Dieses Prüfgefäß ist in Abbildung 9 dargestellt. Durch eine verbesserte Auflage der Silikonringe, zur Unterbindung der Oberflächenentladungen, auf den Isolierstoffprüflingen konnte die Festigkeit der Anordnung von 60 kV auf etwa 70 kV (Scheitel) erhöht werden. Weitere Versuche, im Vergleich zum Vorjahr, mit verschiedenen Isolierstoffen auf Polyamid-Basis haben dabei erneut bestätigt, dass die Durchschlagspannung mit steigender Temperatur abnimmt. So kann

sich die Durchschlagspannung bei 150°C auf einen Wert von nur 50% oder weniger der Durchschlagspannung bei 20°C reduzieren. Dies zeigt, dass eine Berücksichtigung des Temperatureinflusses sinnvoll und notwendig ist.

Bei Temperaturen kleiner 0°C werden weiterhin Untersuchungen bei kaltem Stickstoffgas durchgeführt. Bei Durchschlagprüfungen mit Wechselspannung im homogenen und schwach inhomogenen Feld konnte die Gültigkeit des Paschengesetzes bestätigt werden. Eine Prognose mit einer angepassten Paschen-Formel kann nun auch mit der Gasdichte durchgeführt werden. Bei der Blitzstoßspannungsfestigkeit konnte im verwendeten Kryostaten eine deutliche Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Bereitstellung von Ladungsträgern gefunden werden. Derzeit werden Untersuchungen durchgeführt, um die Bereitstellung von Ladungsträgern zu optimieren und darauf aufbauend Spannungszeitflächen zu ermitteln. Die Untersuchungen sollen helfen den Durchschlagprozess in flüssigem Stickstoff, welcher als Isolier- und Kühlmedium für Hochtemperatursupraleiter dient, zu charakterisieren. Eine exemplarische Versuchsanordnung ist in Abbildung 9 (rechts) zu sehen.

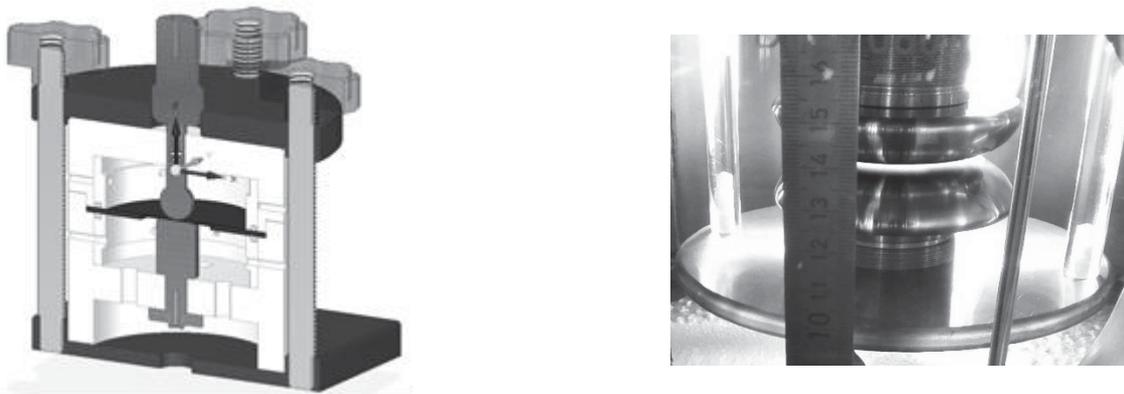


Abbildung 9: Prüfgefäß zur Durchschlagfestigkeitsprüfung bei höheren Temperaturen (links) und Versuchsanordnung bei niedrigen Temperaturen (rechts)

Figure 9: Test vessel for dielectric strength testing at higher temperatures (left) and test arrangement for low temperatures (right)

Temperature-dependent dielectric strength of insulating materials

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

The loads which are to be expected and resisted for electrotechnical devices have been prescribed in standards such as VDE and IEC for many years. However, these standards are in a constant process of adaptation, also due to the development of the devices and thus changes in the conditions. A possible adaptation, which is also being discussed in the IEC Committee TC 42/MT 18, deals with a possible test of low-voltage equipment for partial discharges (PD). So far, tests on PD were not prescribed, but investigations on elenia have shown that the use of PD in low-voltage equipment at elevated temperatures can lie in the range of the operating

voltage and thus occur continuously. Continuous PD are a form of aging and may lead to premature failure of the equipment. The increased temperatures can occur in enclosed small rooms such as control cabinets, especially when motivated to accommodate more and more compact devices in a smaller space.

As the PD behavior changes with temperature, as was observed at the elenia, it is obvious that the behavior of the insulating material also changes with temperature. A characteristic parameter that is particularly relevant for insulation coordination is the breakdown voltage. Last year, the Institute developed and built the test vessel for dielectric strength tests in air up to 150°C, and thus temperatures above the flash point of insulating oils (e.g. 138°C) which are used in the standard tests. This test vessel is shown in figure 9. The strength of the arrangement could be increased from 60 kV to about 70 kV (peak) by an improved pressure of the silicone rings to prevent surface discharges on the insulating material of the test specimens. Further tests, compared to the previous year, with various polyamide-based insulating materials have again confirmed that the breakdown voltage decreases with increasing temperature. Thus, the breakdown voltage at 150°C can be reduced to a value of only 50 % or less of the breakdown voltage at 20°C. This shows that consideration of the temperature influence is sensible and necessary. In the reverse temperature range, i.e. at temperatures below 0°C, further investigations are carried out with cold nitrogen gas. Breakdown tests with alternating voltage in a uniform and weakly non-uniform field confirmed the validity of the paschen law. A prognosis with an adapted Paschen formula can now be carried out using the gas density. With regard to the lightning impulse voltage strength, a clear dependence of the breakdown voltage on the provision of charge carriers could be found in the employed cryostat. Currently, investigations are underway to optimize the provision of charge carriers and to determine voltage-time areas based on these. These investigations shall help to characterize the breakdown process in liquid nitrogen, which serves as insulating and cooling medium for high-temperature superconductors. An exemplary test arrangement can be seen in figure 9 (right).

Entwicklung von innovativen Netzanschlusstypologien basierend auf Hochspannungs-Gleichstrom Übertragung (HGÜ)

Melanie Hoffmann, M.Sc.; Dr.-Ing. Nasser Hemdan

Immer mehr Offshore Windparks werden weit entfernt von der Küste gebaut. Dort sind größere Flächen verfügbar und der Wind weht sowohl stärker als auch konstanter im Vergleich zu küstennahen Regionen. Insbesondere in der deutschen Nordsee ergeben sich durch das Naturschutzgebiet „Wattenmeer“ zusätzliche Herausforderungen.

Um große Energiemengen über weite Entfernungen zu übertragen, wird statt der Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ) vermehrt die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ) eingesetzt (Abbildung 10).

Neben wirtschaftlichen Aspekten ermöglicht die HGÜ Technologie auch die Regelbarkeit des AC-Netzes des Windparks mit Hilfe der sogenannten Voltage Source Converter (VSC). Zusätzlich zum Netzanschluss von Offshore Windparks wird HGÜ auch für die Verbindung unterschiedlicher Länder oder asynchroner Netze genutzt. Hierbei kann auch der Line Commutated Converter (LCC) verwendet werden. Außerdem gibt es bereits erste Projekte, in denen der Eigenbedarf von Öl- und Gasplattformen mit einer HGÜ-Verbindung gedeckt werden soll.

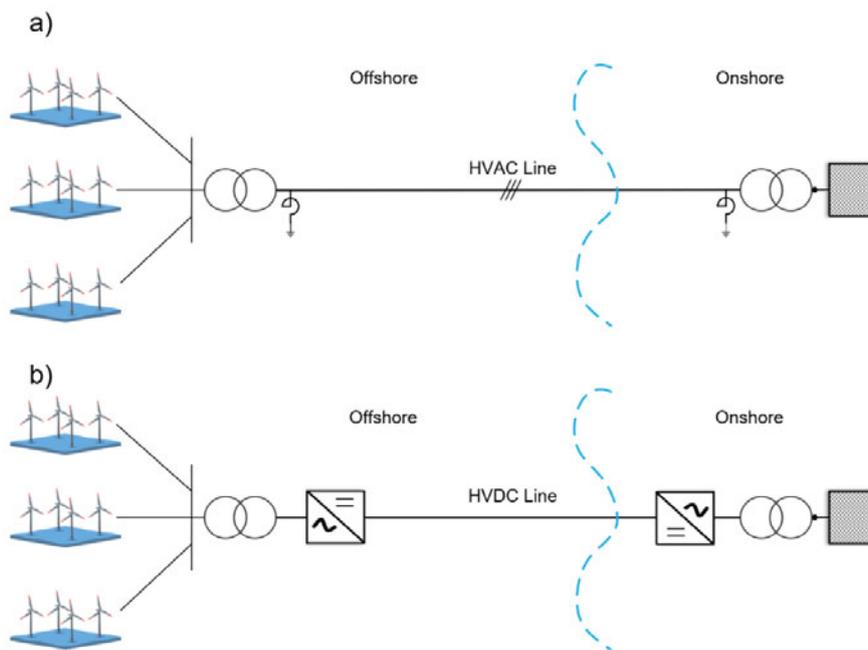


Abbildung 10: Netzanschluss mit a) HDÜ und b) HGÜ

Figure 10: Structure of a) HVAC transmission system and b) HVDC transmission system

Obwohl die Anschaffung der Umrichter mit höheren Kosten verbunden sind, bietet die HGÜ-Technologie viele Vorteile. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren viele HGÜ-Verbindungen in Betrieb genommen. Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen und Kosten langfristig zu senken, wird zurzeit die Nutzung von innovativen Offshore Netzanschlusskonzepten und zukünftigen HGÜ-Netzen mit Simulationen untersucht. Um innovative Netztopologien zu entwickeln, ist es wichtig alle Anforderungen an ein solches System zu identifizieren und zu definieren. Die Überprüfung der technischen Anforderungen wird mit Hilfe von Simulationen überprüft. Durch HGÜ-Verbindungen können nicht nur die Hochspannungsnetze stabilisiert werden, sondern das gesamte elektrische Netz und damit auch die Versorgungssicherheit, beispielsweise in Microgrids, verbessert werden.

Development of Innovative Grid Connection Concepts Based on High-Voltage Direct-Current (HVDC)

Melanie Hoffmann, M.Sc.; Dr.-Ing. Nasser Hemdan

HVDC is the preferred technology for connecting offshore wind farms (OWF) which are far away from the shore. It is feasible to transmit large amounts of power over long distances with HVDC. Currently, Voltage Source Converters (VSC) are used as HVDC converter technology for offshore as well as onshore. This technology offers many advantages such as the independent controllability of active and reactive power, black start capability and the availability of supplying the auxiliary power. However, this technology is very expensive. In addition to connection of OWFs, HVDC is also used for the interconnection of countries or asynchronous grids. For this application, also the Line Commutated Converter (LCC) can be used. Besides that, first projects that have the goal to supply auxiliary power to oil and gas platforms are currently developed using HVDC. To create an innovative grid connection concept that is reliable and less expensive than the state-of-the-art topology all requirements need to be identified and analyzed. The next step is then to test with simulation models if all technical requirements are met. Using HVDC cannot only stabilize existing high voltage grids but also the whole electrical network and consequently, increase the reliability of electricity supply.

3.2 Elektromobilität – Electric Mobility

Mentor: Dr. Lienesch (PTB)

Schwerpunktleiter: Jan Mummel

Identifizierung von Wirkzusammenhängen und Wechselwirkungen in der Produktion und Formierung von Batteriezellen mittels der Forschungsprojekte DaLion und OptiZellForm

Louisa Hoffmann, M.Sc.; Uwe Westerhoff, M.Sc.

Innerhalb des Forschungsschwerpunktes Batterietechnik wurde in diesem Jahr die Arbeit in der Zellproduktion im Rahmen der Forschungsprojekte DaLion und OptiZellForm weiter intensiviert. Im Projekt *DataMining in der Produktion von Lithium-Ionen Batteriezellen (DaLion)* wurden in der sogenannten Reproduzierbarkeitsstudie rund 60 Zellen mit identischen Parametersätzen in fünf unabhängig voneinander produzierten Teilchargen unter Beteiligung des DaLion Konsortiums gefertigt. Die hergestellten Zellen basieren auf der Zellchemie NMC und bestehen aus einem Elektrodenstapel mit jeweils 15 Anoden und 15 Kathoden. Des Weiteren wurde begonnen die Einflüsse des Kalandrier-, Laserschneid- und Z-Faltprozesses auf die Wirkzusammenhänge und Zielvariablen tiefgreifend und detailliert mittels geeigneter Variationsreihen hin zu untersuchen. In diesen wurden neben den Variationen erneut Zellen mit Referenzparametern gefertigt, um die Reproduzierbarkeit des Zellprozesses sicherzustellen. Die Ausschussrate der Kalandriervariationen lag mit zwei defekten Zellen deutlich unter 1%. Es ließen sich große Einflüsse der unterschiedlichen Verdichtung auf die Zellperformance feststellen (Abbildung 11).

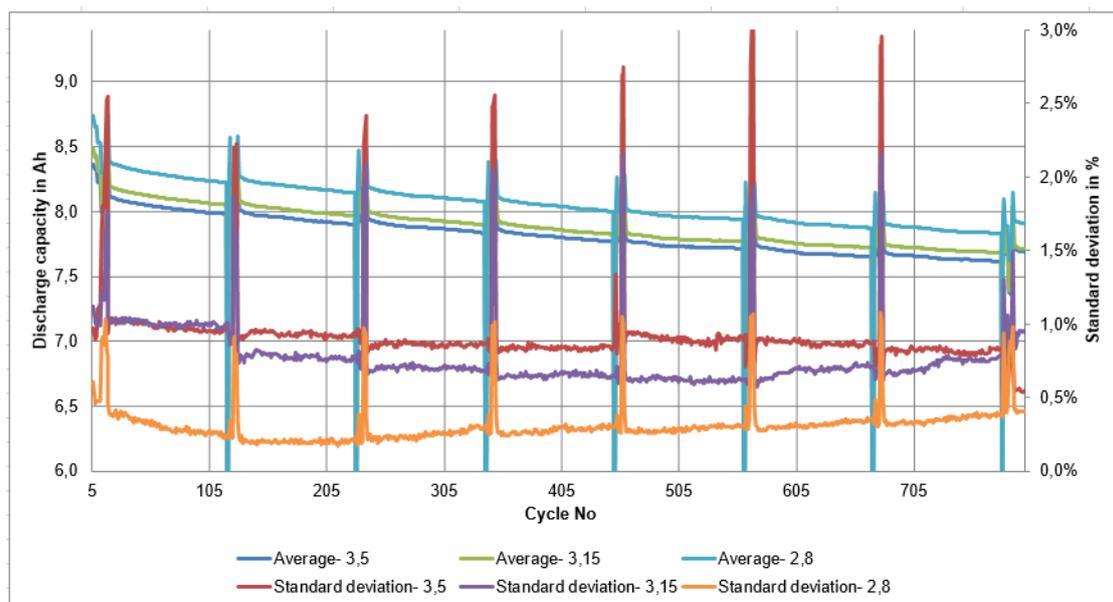


Abbildung 11: Vergleich Kapazitätsverhalten unter den drei Verdichtungsvariationen

Figure 11: Comparison of capacity behavior procedures of the project partners

Die Maximalkapazität variierte mit den unterschiedlichen Dichten zwischen 8,5 und 9 Ah (gemessen bei 1/10 C). Die Standardabweichungen zwischen den Zellen gleicher Parameter lag im Anschluss an die Formierung und die darauffolgende Alterung bei Langzeituntersuchungen knapp unter 1,5 %. Langzeituntersuchungen zum Alterungsverhalten der Zellen haben gezeigt, dass diese nach 800 Zyklen noch eine Restkapazität von 7,6 bis 7,9 Ah (gemessen bei 1 C) aufweisen und damit einen SOH um die 94 %. Die Zellen haben derweil 1500 Zyklen durchlaufen und weisen noch einen SOH von über 90 % auf. Mittels dieser Untersuchungen konnte sowohl die Reproduzierbarkeit als auch die Wirkzusammenhänge zwischen Prozess- und Produkteigenschaftenbeziehungen erfolgreich ermittelt werden.

Im Projekt *Beschleunigung und energetische Optimierung der Zellformierung (OptiZellForm)* wird der Prozess der Formierung sowie der anschließenden Reifung näher untersucht. Neben den Projektpartnern aus Münster (MEET) und Aachen (PEM) ermittelt das elenia die elektrochemischen Eigenschaften von Li-Ion-Batteriezellen mit Elektrodenmaterialien der nächsten Zellgeneration, NMC-622-Kathoden und Si/C-Anoden. Hierzu wurde eine Versuchsplanung mittels eines DoE-Ansatzes aufgestellt, bei welcher eine gezielte Variation von Prozessparametern der Formierung durchgeführt wird. Ziel ist die Untersuchung der Auswirkungen einer Hochstromformierung auf die Qualität und Langzeitstabilität einer Zelle.

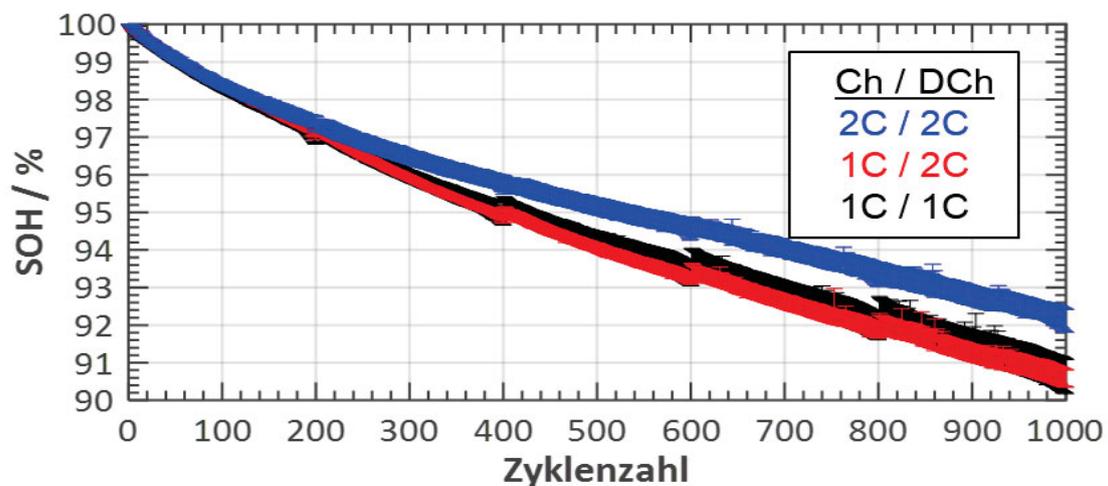


Abbildung 12: Langzeitstabilität von Batteriezellen nach einer Hochstromformierung

Figure 12: Long-term stability of battery cells after high current formation

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass die bisher verwendeten zwei Formierungszyklen mit 1/10 des Nennstroms, durch einen Formierungszyklus mit hohem Strom ersetzt werden kann. In Abbildung 12 sind drei unterschiedliche Lade- zu Entladestromzyklen dargestellt. Die kürzeste Formierung (2C/2C) mit den höchsten Strömen (2-fache des Nennstroms) zeigt sogar eine gesteigerte Langzeitperformance bis derzeit 1.000 Zyklen mit einer Kapazitätsabnahme von < 8%. Weitere Formierungstests mit höheren Strömen bis 4 C und längeren Zyklendaten bis 2.000 folgen im Jahr 2019.

Identification the interrelationship and interaction in the production and formation of battery cells using the research projects DaLion and OptiZellForm

Louisa Hoffmann, M.Sc.; Uwe Westerhoff, M.Sc.

This year, the research group on battery technology has further intensified its work in the cell production with the DaLion and OptiZellForm research projects. As part of the DaLion project (DataMining in the production of lithium-ion battery cells), within the reproducibility studies a total of 60 cells were produced with identical process parameters in five independently produced batches with the participation of the DaLion consortium in the Battery LabFactory Braunschweig (BLB). The produced cells are based on the cell chemistry NMC and consist of an electrode stack with 15 anodes and 15 cathodes.

Furthermore the profoundly investigation of the three processes calendaring, laser-cutting and z-folding by produced cell variations has started. In addition to the variation studies, cells with reference parameters have also produced for guarantee the reproducibility of the cell production. Within the variation batches, the reject rate was – with only one defective cells – well below 1 %. The degree of compaction shows a great influence on the cell performance (figure 10). The average maximum capacity of the different cell batches varied between 8.5 and 9 Ah (measured at 1/10 C). The standard deviation between the cells of the same parameters after formation and subsequent ageing was under 1.5%. Long-term investigations of the ageing behaviour of the cells have shown that they had an average residual capacity of 7.6 and 7.9 Ah (measured at 1 C) after 800 cycles. That corresponded to a SOH of around 94 %. Significantly, the cells had a SOH of over 90 % after 1500 cycles. By means of these investigations, the reproducibility of the cell production and the interaction between process und product features were successfully demonstrated.

In the OptiZellForm project (acceleration and energetic optimization of cell formation) the process of formation and subsequent maturation is investigated in more detail. In parallel to the project partners from Münster (MEET) and Aachen (PEM), the elenia is investigating the electrochemical properties of Li-Ion battery cells using next-generation electrode materials, NMC-622 cathodes and Si/C anodes. To this purpose, an experimental design was drawn up using a DoE approach, in which a specific variation of the forming process parameters is carried out. The aim is to investigate the effects of high current formation on the quality and long-term stability of a cell.

First investigations have shown that the two formation cycles used so far with 1/10 of the nominal current can be replaced by one formation cycle with high current. Figure 12 shows three different charge to discharge current cycles. The shortest formation (2C/2C) with the highest currents (2 times the rated current) even shows an increased long-term performance up to currently 1,000 cycles with a capacity decrease of < 8%. Further forming tests with higher currents up to 4 C and longer cycle data up to 2.000 will follow in 2019.

Methodenentwicklung zur Charakterisierung der Leistungsgüte von HV-Batteriemodulen vor dem Hintergrund eines Second-Life-Einsatzes

Julia Brockschmidt, M.Sc.

Innerhalb der Forschergruppe Batterietechnik wird im Rahmen des Projektes *NetProSum2030* nun auch das Thema Batteriemodule beleuchtet. Im Fokus steht dabei der Second-Life-Einsatz von HV-Fahrzeugg Batterien. Ziel ist es, eine Methode zu entwickeln, die es erlaubt, gealterte Fahrzeugbatteriesysteme, die den Anforderungen ihres Erstanwendungsfalles nicht mehr gerecht werden, hinsichtlich ihrer Eignung für einen Einsatz als stationäre Speicher zu bewerten. In der Regel gilt die Lebensdauer eines Fahrzeugbatteriesystems für die automobiler Anwendung bei einem „Gesundheitszustand“ von 80 %, d.h. es steht nur noch 80 % der ursprünglichen Speicherkapazität zu Verfügung, als vorüber. Zur Nutzung der Restkapazität wird das Batteriesystem hinsichtlich der Dimensionen und Anforderungen stationärer Speicher angepasst und mit einem milderen Lastprofil betrieben. Die hierbei zu berücksichtigenden Faktoren sind bisheriges Alterungsprofil und zu erwartende Lebensdauer.

Um diese Faktoren genauer benennen zu können, werden im ersten Schritt die Batteriesysteme in ihre Module zerlegt. Auf die Module sollen bekannte Prüfverfahren der Batteriezelltechnik übertragen werden: Tests zur Bestimmung der verbleibenden Kapazität und des Innenwiderstands sind auch bei Batteriemodulen ohne größere Herausforderungen möglich sind und werden erfolgreich in unseren Laboren durchgeführt. Einen exemplarischen Verlauf des Innenwiderstands über dem Ladezustand State of Charge (SoC) eines Batteriemoduls eines BMW i3-Batteriesystems zeigt die nachstehende Abbildung 13.

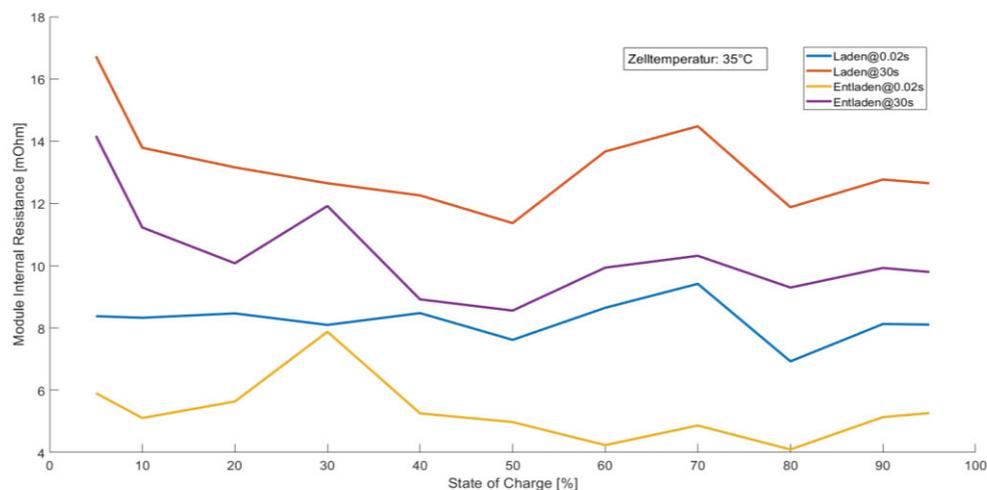


Abbildung 13: Innenwiderstand eines Batteriemoduls in Abhängigkeit vom Ladezustand

Figure 13: Module inner resistance dependent on the state of charge

Aktuell ist jedoch unklar, in wie weit sich die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) auf Module anwenden lässt. Diese Frage steht im Fokus der Forschungsarbeiten für das kommende Jahr. Wenn das Messverfahren verwendbare Ergebnisse liefert, wird es für weitere Untersuchungen zum Einfluss der Verschaltung der Module miteinander auf die einzelnen Zellen angewendet, um für den stationären Anwendungsfall den Aufbau des Speichers sowie seine Nutzung zu optimieren.

Development of Methods for the State of Health Examination of High Voltage Battery Modules for the Purpose of a Second-Life Application

Julia Brockschmidt, M.Sc.

The research focus group battery technology has extended its investigation fields further embedded in the project *NetProSum2030*, battery modules and systems have become a topic of interest as well. With the objective of a second-life application, high voltage lithium-ion battery modules are examined with respect to their ageing history, state of health and predicted remaining life span.

Principally, the first-life application of an automotive battery system ends at a state of health (SoH) lower than 80 %, which means that about 80 % of the nominal capacity is still usable. Consequently, means to use this remaining capacity in form of a stationary storage device for a so-called prosumer household are investigated. Therefore, requirements for such a stationary storage device have been analysed, followed by the determination of necessary modifications of the initial battery systems based on calculations.

In order to optimise the operation strategy of the stationary storage device, the current SoH has to be identified. Moreover, the remaining life span has to be assessed. For this purpose, the remaining capacity and the inner resistance of the battery module is measured (figure 13). Besides, the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) is the method of choice such that ageing processes can be identified in further detail. However, this method has been well tested on battery cells only. Hence, the challenge and research objective is to apply EIS on battery modules as well.

Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen - Projekte lautlos&einsatzbereit, NetProsum 2030

Jan Mummel, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow; Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

Olga Pronobis, M.Sc.

Die Forschergruppe Lademanagement bildet die Schnittstelle der Forschungsschwerpunkte Aktives Verteilnetz und Elektromobilität. Hierbei werden im Bereich der Elektromobilität Lösungen zur Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen entwickelt. Einen Überblick über den Forschungsbereich im Gebiet der Netz- und Systemintegration bietet die Abbildung 14.

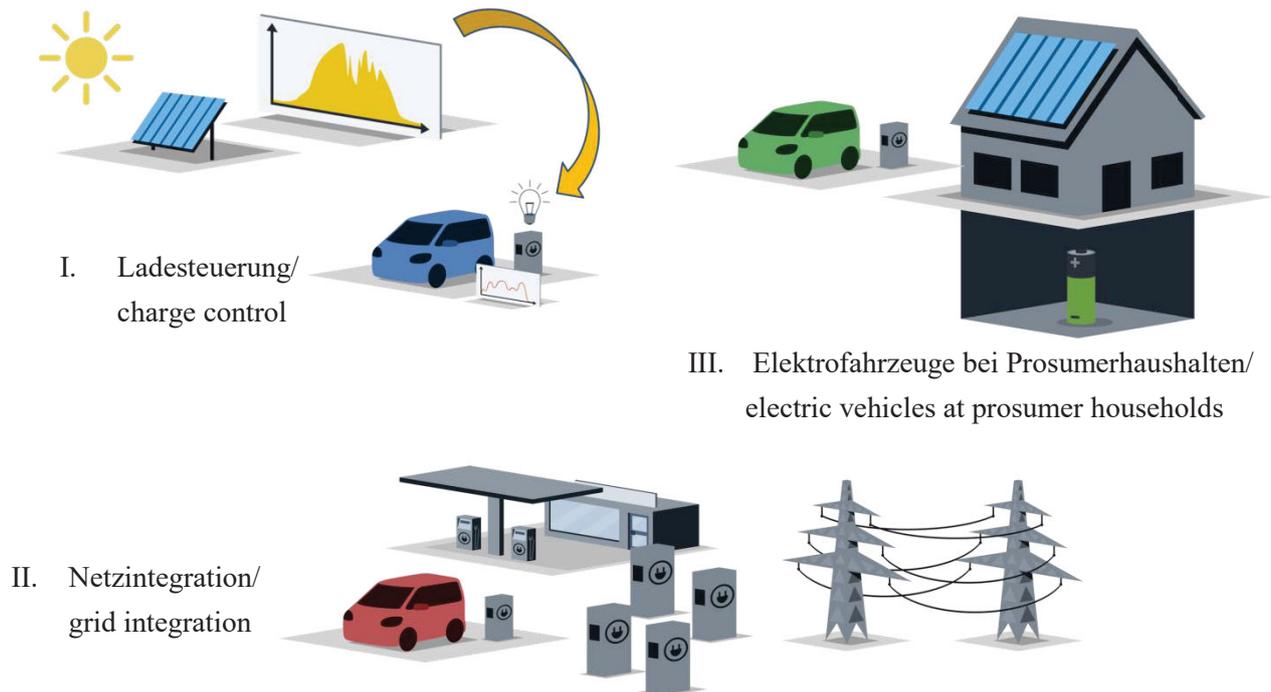


Abbildung 14: Forschungsbereiche bei der Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen

Figure 14: Research topics

Aufbauend auf den erzielten Ergebnissen im abgeschlossenen Projekt *Fleets Go Green* wird im Projekt *lautlos&einsatzbereit* das Lademanagementsystem *elias* weiterentwickelt. Im Rahmen dieses Projektes werden fünfzig konventionelle Fahrzeuge der Polizei gegen Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeuge ausgetauscht. Die besondere Herausforderung beim Laden der Fahrzeuge ist hierbei der zeitliche Unsicherheitsfaktor. Während bei der überwiegenden Anzahl von Elektrofahrzeugflotten die Einsatzzeiten planbar sind, ist dieses im Einsatz und Streifendienst nicht möglich.

Im Rahmen des am 1. September 2017 gestarteten Projektes *NetProsum 2030* wird der Einfluss von Elektrofahrzeugen im Zusammenhang mit einem Erzeuger-Speicher-System in Prosumer-Haushalten untersucht und im späteren Projektverlauf auch in einer Laborumgebung erprobt. Neben der Möglichkeit der Spitzenkappung durch das Speichersystem liegt der Fokus auf der Bereitstellung von Blindleistung, insbesondere durch den Batteriewechselrichter, als spannungsstabilisierende Maßnahmen. Die Untersuchungen zeigen bislang, dass die vorgestellte Kombination eine gute Möglichkeit für eine hohe Durchdringung für Elektromobilität in bestehenden Wohngebieten darstellt, ohne einen sicheren Netzbetrieb zu gefährden.

Grid and System Integration of Electric Vehicles - Research Projects lautlos&einsatzbereit, Netprosum 2030

Jan Mummel, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow; Olga Pronobis, M.Sc.; Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

The research group *Energy Management* represents the interface of the research for *Smart Grid* and *Electric Mobility*. The field of *Electric Mobility* deals with solutions for grid and system integration in electric vehicles. An overview of the research areas in the field of grid and system integration is shown in figure 14.

The existing charging management system elias will be developed in the project *lautlos&einsatzbereit*. Fifty conventional police vehicles will be replaced by plug-in-hybrid and electric vehicles. The particular challenge for the loading of the vehicles is the temporal uncertainty factor, as the time of usage cannot be scheduled for either police operations or patrol duty.

As part of the project *NetProsum 2030*, which was launched on September 1, 2017, the impact of electric vehicles in connection with a generator storage systems in prosumer households will be investigated and tested in a laboratory environments. The addition to the possibility of peak shaving by the storage system, the focus is on the supply of reactive power, in particular by the battery inverter, as voltage-stabilizing measures. The investigations so far show the positive impact of this approach with regard to a high penetration of electric vehicles in existing residential areas.

3.3 Aktives Verteilnetz – Smart Grid

Mentor: Prof. Engel Schwerpunktleitung: Stefanie Čelan, Hartmudt Köppe,
Ole Marggraf

Vernetzte Gebäude im Smart Grid

Dipl. Ing. Stefanie Čelan; Stephan Diekmann, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.; Jonathan Ries, M.Sc.; Lorenz Soleymani, 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 Wohngebäudeebene 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 IKT-Anbindung, Steuerbarkeit und Synergieeffekte betrachtet. Der Betrachtungshorizont 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 sowie deren Verbund in ihren Eigenschaften und Funktionsweisen nachgebildet, rechnergestützt simuliert sowie in Laborumgebungen real betrachtet. Auch Komfortaspekte und Nutzerverhalten sowie Nutzersensibilisierung finden dabei Berücksichtigung. Im Rahmen des Forschungsprojektes *NetProsum2030* wird die Entwicklung eines innovativen Kombiwechselrichters verfolgt, dessen Leistungsflusssteuerung durch ein am elenia entwickeltes Energiemanagementsystem erfolgt. Des Weiteren werden mittels Simulationsreihen und Laboruntersuchungen das Netzanschlussverhalten zukünftiger Prosumerhaushalte bei zunehmender Integration von PV-Speichersystemen, der Elektromobilität sowie dezentralen Energiemanagementsystemen untersucht. Auf universitärer Ebene werden innerhalb des Projekts *EnEff Campus 2020* vergleichbare Ziele verfolgt. Mit dem Fokus einen energieeffizienten Campus zu gestalten, wird unter anderem die Integration von erneuerbaren Energiesystemen, stationären Speichern und Ladesäulen untersucht und ein Energiemanagement für Ladebereiche entwickelt.

Das niedersächsische Verbundprojekt *Nachhaltige Energieversorgung Niedersachsen (NEDS)* entwickelt und überprüft Szenarien einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung für Niedersachsen sowie die Bestimmung von optimalen technologischen Umsetzungspfaden zur Erreichung dieser Zielvorgabe unter Nachhaltigkeitskriterien. Im Hinblick auf ein zukünftiges Smart Grid erfolgt dazu eine agentenbasierte Microgrid-Simulation, um mögliche Synergieeffekte auf Netz- und Gebäudeebene zu untersuchen.

Darüber hinaus werden Auswirkungen netzdienlich betriebener Prosumer-Haushalte mit abschaltbaren Lasten wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeugen sowie Batteriespeichern in stark Photovoltaik dominierten Netzgebieten netztechnisch untersucht und bewertet. Auch wirtschaftliche Fragestellungen werden bearbeitet, aktuelle regulatorische Hemmnisse aufgezeigt und Empfehlungen für einen ganzheitlichen, energieeffizienten Netzbetrieb ausgesprochen. Projektübergreifend wurde eine umfangreiche Simulationsumgebung entwickelt, welche fortlaufend verbessert wird (Abbildung 15). Mit Schnittstellen zur Messdatenerfassung, Prognosebildung, Optimierung, Netzberechnung und variablen Zielfunktionen mit verschiedenen räumlichen Betrachtungsreichweiten wird sie zukünftig ein hilfreiches Instrument für vielfältige Forschungsfragen sein. Durch Integration einer modularen Steuerungsumgebung für die elenia energy labs besteht nun die Möglichkeit, gekoppelte Untersuchungen aus energetischen Modellen und Hardwaregeräten durchzuführen.



Abbildung 15: Modulare Simulationsumgebung für vernetzte Systeme

Figure 15: Modular simulation framework for networked systems

Smart buildings integrated in smart grids

Dipl. Ing. Stefanie Čelan; Stephan Diekmann, M.Sc.; Christian Reinhold, M.Sc.; Jonathan Ries, M.Sc.; Lorenz Soleymani, 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 % in primary energy consumption is intended. Influenced by these fundamental changes in the generation and the supply of electric energy a paradigm shift becomes necessary. In the future the load must be adapted to the increasingly volatile production situation. Information and communication technologies (ICT) form a key factor in this harmonization of production and consumption.

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

In this context the research topic is integrated. Different types of generators, storages and loads are considered in the context of several research projects in terms of their ICT connectivity and controllability. The perspective ranges from aspects such as own consumption maximization or energy cost reduction and other optimization goals over communication channels, protocol versions and associated data sets up to control and application scenarios. There are individual components and their interconnection considered (figure 15).

Untersuchungen zur Effizienz von PV-Speichersystemen

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

Die Speicherung von PV-Strom in privaten Haushalten erlangte in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung. Im Jahr 2017 wurde laut ISEA ungefähr die Hälfte der neu installierten, kleinen PV-Anlagen zusammen mit einem Speichersystem installiert. Inzwischen gibt es eine Vielzahl von PV-Speichersystemen auf dem Markt.

Um den Anwendern und Installateuren eine Unterstützung bei der Kaufentscheidung zu liefern, hat der BVES unter Mitwirkung des elenia einen *Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme* herausgegeben und weiterentwickelt. Dieser Effizienzleitfaden bildet die Grundlage für die einheitliche Messung der Energieeffizienz von PV-Speichersystemen. Gemessen werden sowohl die Verluste des Leistungsumwandlungssystems als auch der Batterie in verschiedenen Betriebszuständen sowie die Regelabweichung des Speichersystems.

Das elenia hat inzwischen im Auftrag verschiedener Hersteller zahlreiche PV-Speichersysteme vermessen. Ein beispielhafter Messaufbau ist in der Abbildung 16 dargestellt. Die bei den Messungen gewonnenen Erkenntnisse sind nicht nur den Herstellern und den Kunden zugutegekommen, sondern auch in die Weiterentwicklung des Effizienzleitfadens eingeflossen.



Abbildung 16: Vermessung eines PV-Speichersystems nach Effizienzleitfaden
Figure 16: Measurement of a PV storage system according to efficiency guideline

Examination of the efficiency of PV storage systems

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

The storage of PV electricity in private households has become increasingly important. In 2017, according to ISEA, about half of the newly installed small PV systems were installed along with a storage system.

In order to provide users and installers with support in the purchase decision, the BVES has published an *Efficiency Guide for PV Storage Systems*, assisted by elenia and others. This efficiency guideline is the basis for the consistent measurement of the energy efficiency of PV storage systems. The losses of the power conversion system and the battery are measured in different operating states as well as the control deviation of the storage system.

Elenia has measured numerous PV storage systems on behalf of various manufacturers by now. An exemplary measurement set-up is shown in the figure 16. The insights gained from the measurements not only benefited manufacturers and customers, but also contributed to the further development of the efficiency guideline.

Blindleistungsmanagement in Verteilungs- und Übertragungsnetzen

Hartmudt Köppe, M.Sc.; Ole Marggraf, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow

Im Rahmen des in der Forschungsinitiative STROMNETZE durchgeführten Projekts *PV-Wind Symbiose* werden intelligente Lösungen für das Blindleistungsmanagement in Verteilungs- und Übertragungsnetzen entwickelt. Mittels vernetzter Regelalgorithmen werden Wind- und PV-Kraftwerke derart gesteuert, dass diese mit einer hohen Verfügbarkeit und bei minimierten Verlusten Blindleistung für das Stromnetz bereitstellen. Im Jahr 2018 beschäftigte sich das elenia mit der Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen dieser vernetzten Regelalgorithmen. Die finalen Projektergebnisse werden für das Jahr 2019 erwartet.

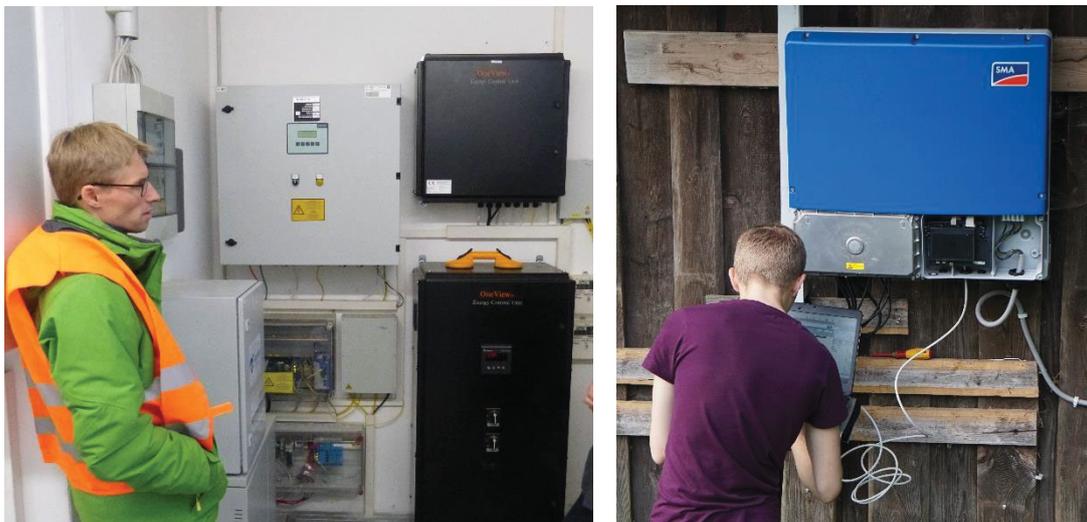


Abbildung 17: Links: Umspannwerk der Pilotanlage des Projekts „PV-Wind-Symbiose“; rechts: Feldtestwechselrichter im Projekt „U-Control“

Figure 17: Left: Electrical substation of the pilot power plant of the project “PV-Wind-Symbiose”; right: Field test inverter of the project “U-Control”

Das Verbundforschungsprojekt *U-Control* konnte im Jahr 2017 wichtige Impulse für die Neufassung der Anwendungsregel des VDE zum Anschluss von Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz VDE-AR-N 4105 geben. Nachdem in umfangreichen Simulationen, Labor- und Feldversuchen die Wirksamkeit, Effizienz und Stabilität der Q(U)-Regelung gezeigt wurde, scheint aktuell der Weg in die nächste Fassung der Anwendungsregel geebnet zu sein. Im Vergleich zur aktuell geforderten $\cos\phi(P)$ -Steuerung kann der Blindenergieeinsatz zur Spannungshaltung bei ähnlich großer Wirkung auf die Spannungshaltung um über 90 % reduziert werden. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf die Netzverluste und die wechselrichterinternen Verluste aus. Eine Entscheidung über das zukünftig zu favorisierende Spannungshaltungskonzept in der Niederspannungsebene wird noch für Ende 2018 erwartet.

Im Rahmen des Schaufensterprojektes *InduktivLaden emilia* und diverser weiterer Studien wurde der Einfluss der Elektromobilität auf die Verteilnetze, insbesondere das Niederspannungsnetz, untersucht. Die punktuelle hohe Leistung beim ÖPNV (z. B. induktives Hochleistungsladen mit 200 kW) oder eine hohe kumulierte Ladeleistung innerhalb eines Niederspannungsnetz durch häusliche Wallboxen mit Leistungen bis zu 11 kW stellen die Energieversorgungsnetze vor Herausforderungen. Bei der Simulation von ausgewählten Netzen und Szenarien zeigen sich Verletzungen des Spannungsbands als eine Folge der Netzintegration der Elektromobilität. Mithilfe eines kapazitiven Betriebs durch einen aktiven Gleichrichter bei der Ladeinheit oder mithilfe eines zusätzlichen PV-Speichersystems, das Blindleistung aus Batteriewechselrichtern (Statcom-Betrieb) bereitstellt, können Spannungsabnahmen reduziert und Spannungsbandverletzungen verhindert werden.

Reactive power control in distribution and transmission grids

Hartmudt Köppe, M.Sc.; Ole Marggraf, M.Sc.; Dipl.-Ing. Jonas Wussow

The focus of the project *PV-Wind-Symbiose* is the development of intelligent control algorithm for reactive power management in distribution and transmission grids. The aim is to provide reactive power efficiently with renewable energy resources like wind and PV power plants. In 2017 different algorithms were developed and simulations were done. It is planned to control the pilot power plant in 2018.

In 2017, the research project *U-Control* was able to provide important impulses for the amendment of the VDE guidelines for the connection of decentralized generators in the low-voltage grid VDE-AR-N 4105. After the efficiency, efficiency and stability of the Q (U) control have been demonstrated in simulations, laboratory tests and field tests, the path to the next version of the guidelines seems to be paved. Compared to the currently required $\cos\phi(P)$ control, the reactive energy for voltage control can be reduced by more than 90 % with a similarly effect on voltage. This also has a positive effect on the grid losses and the inverter internal losses. A decision about the voltage control concept to be favored in the low-voltage level in the future is still expected for the end of 2018.

Voltage stabilization measures in conjunction with electric mobility were analyzed within the project *emilia* and other studies. The provision of reactive power by an active rectifier or by a PV-Storage system minimize the negative impact of punctual high power charging or of a high number of charging stations in the LV-grid. Possible deviations of the voltage range can be prevented by means of this approach.

Systemstabilität in Netzen mit hoher Durchdringung von erneuerbaren Energien

Florian Rauscher, M.Sc.; Julia Seidel, M.Sc.; Björn Osterkamp, M.Sc.; Edwin Rebak, Ingeniero Electromecánico; Björn Oliver Winter, M.Sc.

Der stetig zunehmende Anteil an erneuerbaren Energien im Stromnetz führt zu einem Wandel von einem bisherigen synchrongenerator-dominierten zu einem zukünftigen wechsellrichterdominierten Netz. Hierbei müssen die für die Systemstabilität notwendigen Systemdienstleistungen, die typischerweise von konventionellen Kraftwerken erbracht werden, durch alternative Netzkomponenten substituiert werden. Im Rahmen der Forschungstätigkeit beschäftigt sich das elenia mit neuartigen Regelungskonzepten für Wechselrichter, die diese Lücke schließen können. Besonderer Fokus liegt hierbei auf der Frequenzhaltung mit unterschiedlichen Facetten.

Erbringung von Primärregelleistung

Im Rahmen des Forschungsprojektes *PV-Regel* wurde in den letzten Jahren erarbeitet, dass Photovoltaikanlagen sowohl negative als auch positive Regelleistung bereitstellen können. Die Umsetzung erfolgte ausschließlich aus PV-Anlagen, die ohne zusätzliche Batteriekapazität betrieben wurden. Weiterführend wurde gezeigt, dass die sehr hohe Leistungsänderungsgeschwindigkeit von Wechselrichtern dazu verwendet werden kann, eine Regelleistungsart, die schneller als Primärregelleistung auf eine Frequenzabweichung reagiert, zu etablieren (Abbildung 18).

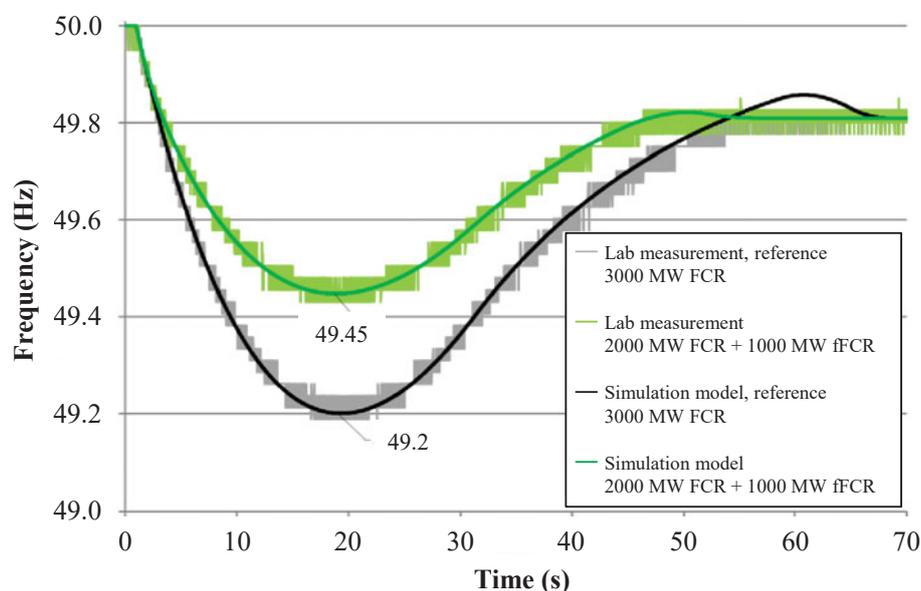


Abbildung 18: Frequenzverlauf nach einem Störfall mit aktueller Primärregelleistungsbereitstellung und anteiliger Substitution durch schnelle PRL

Figure 18: Frequency response after an incident with current primary control reserve and partial substitution by fast primary reserve

In dem oben gezeigten Beispiel wird ein Drittel der aktuell verfügbaren Primärregelleistung durch das schnellere Produkt ersetzt. Damit wird ein deutlich stabilerer Frequenzverlauf nach einem Störfall im Vergleich zum heutigen System erzielt. Dieses Szenario ist bereits heute mit den für Primärregelleistung präqualifizierten Batteriespeichern umsetzbar.

Bereitstellung von Momentanreserve mittels Wechselrichtern

Weiterhin wird am elenia die Realisierung und Weiterentwicklung von spannungseinprägenden Regelungsverfahren untersucht. Diese netzbildenden Wechselrichter werden aktuell vorwiegend in Off-Grid-Anwendungen verwendet und bilden zusammen mit Batteriespeichern das Kernstück eines Inselnetzes. Dieses kann spontane Anpassungen der Last und der Erzeugung ausregeln, womit bereits gezeigt wurde, dass Momentanreserve von Wechselrichtern bereitgestellt werden kann. Um den netzbildenden Wechselrichter auch im Stromnetz sicher im Netzparallelbetrieb führen zu können, wird eine Regelung benötigt, die das prinzipielle elektrische Verhalten einer Synchronmaschine nachbildet (Abbildung 19).

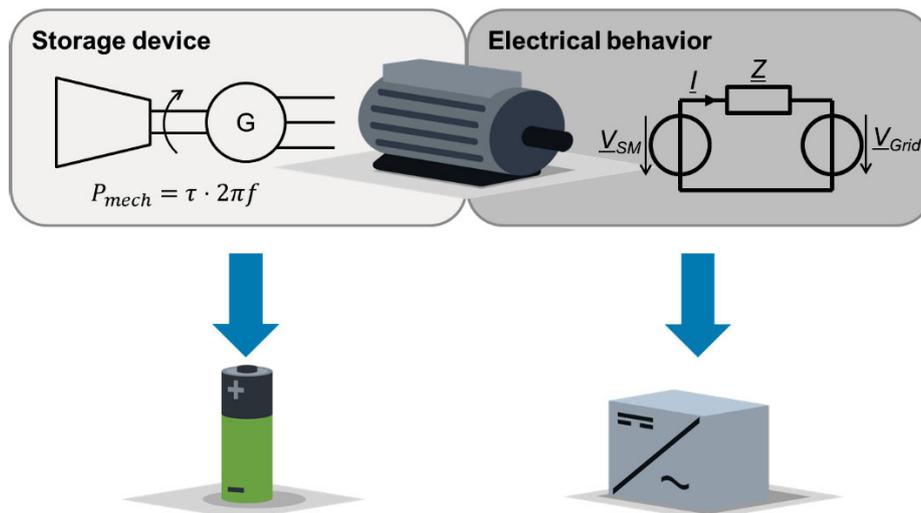


Abbildung 19: Schematische Nachbildung eines Synchrongenerators mittels eines Wechselrichters

Figure 19: Schematic diagram of modeling a synchronous generator by an inverter

Im Forschungsprojekt *Netzregelung 2.0* werden bestehende Verfahren miteinander verglichen und im Hinblick auf die Stabilitätskriterien des Netzes weiterentwickelt. Neben weitreichenden Untersuchungen in Simulation und im Labor sollen zudem Empfehlungen für eine flächendeckende Netzintegration dieser Wechselrichter erarbeitet werden, um ein 100 % Erneuerbare-Energien-Szenario zu ermöglichen.

System stabilization with inverters

Florian Rauscher, M.Sc.; Julia Seidel, M.Sc.; Björn Osterkamp, M.Sc.; Edwin Rebak, Ingeniero Electromecánico; Björn Oliver Winter, M.Sc.

The constantly increasing share of renewable energies in the power grid leads to a change from a synchronous generator dominated grid to a future inverter dominated grid. The system services required for system stability, which are typically provided by conventional power plants, must be replaced by alternative grid components. As part of its research activities, elenia is working on novel control concepts for inverters that can close this gap. Special focus is placed on the service of frequency control with different facets.

Provision of primary control reserve

Within the framework of the PV-Regel research project, it has been shown in recent years that photovoltaic systems can provide both negative and positive control power. The implementation was carried out exclusively from PV systems that were operated without additional battery capacity. In addition, it could be shown that the very high power change rate of inverters can be used to establish a control power type that reacts faster than primary control power to a frequency deviation (figure 18).

In the example shown above, 1/3 of the currently available primary control power is substituted by the faster product. This results in a significantly more stable frequency response after a fault compared to the current system. This scenario can already be implemented today with battery storage systems prequalified for primary control power.

Provision of instantaneous reserve by an inverter

Furthermore, elenia is researching the realization and further development of voltage control methods for inverters. These grid forming inverters are currently mainly used in off-grid applications and, together with battery storage units, form the heart of a stand-alone grid which can regulate sudden load and generation adjustments, thus demonstrating that instantaneous reserve can be provided by inverters. In order to be able to safely control the grid-forming inverter in grid-parallel operation, a control system is required that can simulate the principle electrical behavior of a synchronous machine (figure 19).

In the research project *Netzregelung 2.0*, existing methods are compared with each other and further developed with regard to the stability aspects of the grid. In addition to extensive investigations in simulation and laboratory, recommendations for an area-wide grid integration of these inverters are to be developed in order to enable a 100 % renewable energy scenario.

Forschungsprojekt MozuBi - Modellierung zukünftiger Bilanzkreisbewirtschaftung

Lily Kahl, M.Sc.; Henrik Herr, M.Sc.

Das Projekt *Modellierung zukünftiger Bilanzkreisbewirtschaftung (MozuBi)* beschäftigt sich mit dem Bilanzkreiswesen als maßgebliches Instrument zur Minimierung von Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch. Angesichts der Herausforderungen durch die aktuellen Transformationen im Energiesystem hat die Thematik der Bilanzkreistreue energiepolitisch eine neue Aktualität erhalten. Deshalb modelliert und bewertet das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia gemeinsam mit dem Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES gGmbH) als Projektpartner umfängliche Änderungen im Bilanzkreiswesen unter verschiedenen Anreizstrukturen zur Bilanzkreistreue. Darüber hinaus werden die Rückwirkungen auf die Energie(teil)märkte analysiert.

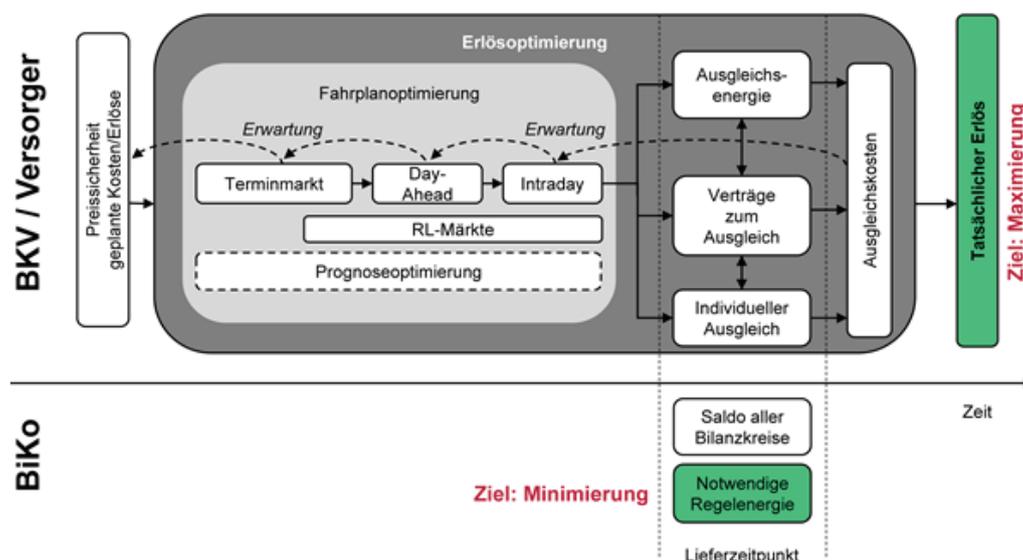


Abbildung 20: Modellraum und akteursbezogene Ziele

Figure 20: Model space and actor-related objectives

Ein Teilziel des Projektes ist die detaillierte Nachbildung der Prozessketten für die einzelnen Akteure mittels computergestützter Simulationswerkzeuge, um die Zusammenhänge und Rückkopplungen im Bilanzkreissystem sowie die Systemgrenzen unter Einbeziehung verschiedener Entwicklungsszenarien umfassend zu analysieren. Der Fokus liegt dabei auf der Identifizierung von Stellgrößen und Ansatzpunkten in der heutigen Bilanzkreiswirtschaft zum Zwecke einer steigenden Bilanzkreistreue der Akteure.

Ein weiteres Ziel dieses Projektes ist es individuelle Flexibilitätsoptionen und Systemparameter in Bezug auf den Bilanzausgleich zu identifizieren und zu analysieren. Weiterhin sollen die Auswirkungen einer höheren Bilanzkreistreue unter einzelwirtschaftlichen Kalkülen betrachtet werden. Hierbei werden Marktverzerrungen sowie Fehlanreize auf den Ebenen der Bilanzkreiswirtschaft, der Energiemärkte und der Systemdienstleistungen (Regelleistung) analysiert.

Die grundsätzlichen Hemmnisse, Wechselwirkungen und Interessenskonflikte im Bilanzkreis-ausgleich wurden bislang meist in isolierten Fragestellungen behandelt. Das vorgestellte Vorhaben soll eine gesamtsystemische Perspektive verfolgen und so zu einer Optimierung der Systemtransformation beitragen.

Research project MozuBi - Modelling of future balancing group management

Lily Kahl, M.Sc.; Henrik Herr, M.Sc.

The project *Modelling of future balancing group management (MozuBi)* deals with the balancing group system as a decisive instrument for minimizing deviations between generation and consumption. In the light of the challenges posed by the current transformations in the energy system, the issue of balancing group compliance has received a new relevance in terms of energy policy. Therefore, the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems (elenia) in cooperation with the Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES gGmbH) as project partner models and evaluates comprehensive changes in the balancing group system under different incentive structures for balancing group compliance. In addition, the impacts on the energy (sub) markets will be analyzed.

One sub goal of the project is the detailed simulation of the process chains for the individual actors using computer-aided simulation tools to analyze the interrelations and feedback in the balancing group system as well as the system boundaries, taking into account various development scenarios. The focus is to identify control variables and starting points in today's balancing group system for increasing balancing group compliance.

Another aim of this project is to identify and analyze individual flexibility options and system parameters with regard to balancing. Furthermore, the effects of a higher balancing group compliance under microeconomic calculations will be evaluated. Market distortions and false incentives at the levels of the balancing group system, energy markets and system services (control power) will be analyzed. The fundamental obstacles, interactions and conflicts of interest in balancing group management have so far mostly been dealt within isolated investigations. The presented intention is to pursue an overall systemic perspective and thus contribute to an optimization of system transformation.

3.4 Dissertationen – Dissertations

Betriebskonzepte für simultan mehrfach genutzte Photovoltaik-Speichersysteme

Tag der Prüfung: 27.02.2018

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Volker Quaschnig

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Regine Mallwitz

Franziska Lobas-Funck, geb. Funck, M.Sc.

Getrieben durch die Energiewende ist die Anzahl dezentraler, stationärer Batteriespeicher in den letzten Jahren stark gestiegen. Neben einem netzdienlichen Speicherbetrieb ist auch die effiziente Ausnutzung der Batteriespeicher anzustreben. Allein durch eigenverbrauchsorientierten Speicherbetrieb gelingt es nicht, das technische Potenzial eines Batteriespeichers auszuschöpfen. Daher ist es sinnvoll, durch geeignete Betriebs- und Messkonzepte eine simultane Mehrfachnutzung von Batteriespeichern zu ermöglichen.

Diese Arbeit stellt ein Betriebs- und Messkonzept für simultan mehrfach genutzte PV-Speichersysteme vor. Dieses Konzept ermöglicht es, freie Speicherkapazitäten einem Dritten zu überlassen und jederzeit Kenntnis darüber zu haben, welche in den Speicher geladenen oder aus dem Speicher entladenen Energiemengen dem Anlagenbetreiber oder dem Dritten zuzuordnen sind.

Mittels einer Rechnersimulation des Betriebs- und Messkonzepts wird untersucht, welche Auswirkungen die Wahl verschiedener Parameter auf den Nutzen für den Anlagenbetreiber und den Dritten haben. Es kann gezeigt werden, dass die Mehrfachnutzung den Anlagenbetreiber nicht beeinträchtigt und sich die Eigenverbrauchsquote und die Autarkiequote nur marginal verändern.

Ergänzend wird das Messkonzept in einer Laborumgebung untersucht. Die Laboruntersuchungen zeigen, welche große Relevanz der zeitlich korrekte Ablauf der Kommunikation zwischen den verwendeten Komponenten hat. Darüber hinaus wird der Einfluss von Reaktionszeiten der verwendeten Komponenten untersucht. Anhand der Laboruntersuchungen werden Maßnahmen zur Weiterentwicklung aufgezeigt, die einen zukünftigen Einsatz in Feldversuchen ermöglichen.

Die Simulationsergebnisse sowie die Ergebnisse der Laboruntersuchen zeigen gemeinsam die Funktionsfähigkeit des Betriebs- und Messkonzepts für simultan mehrfach genutzte PV-Speichersysteme und machen die Vorteile dieses Ansatzes sichtbar.

Operating concepts for simultaneously multiple-use photovoltaic storage systems

Franziska Lobas-Funck, geb. Funck, M.Sc.

Driven by the transition of the energy system in Germany, the number of decentralized stationary battery storage units has risen sharply in recent years. In addition to a grid orientated mode of operation the battery storage units should be used efficiently. If battery storage units are only used in order to increase the self-consumption rate the potential of the battery storage unit is not used entirely. Therefore, it is useful to enable simultaneous multiple use of battery storage units by a suitable operating and measuring concept.

This work presents an operating and measuring concept for simultaneous multiple use of Photovoltaics (PV) storage systems. This concept allows to leave free storage capacities to a third party contractor. Additionally, the concept tracks which amount of energy that is charged into the storage or discharged from the storage is assigned to storage operator or to the third party contractor.

With a computer simulation of the operating and measurement concept the effects of different parameters on the benefit for the storage operator and third party contractor are examined. It can be shown that the simultaneous multiple use of battery storage units does not affect the storage operator. The self-consumption rate and the self-sufficiency rate only change marginally.

The measurement concept is verified in a laboratory environment. The laboratory tests show the relevance of the timely correct sequence of communications. In addition, the influence of reaction times of the components is investigated. On the basis of the laboratory tests actions for further developments are presented.

The simulation results as well as the results of the laboratory tests have shown together the functionality of the operating and measurement concept for simultaneous multiple used PV storage systems and highlights the advantages of this approach.

Gepoolte PV-Heimspeicher zur Bereitstellung von Primärregelleistung

Tag der Prüfung: 16.04.2018

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Regine Mallwitz

Raphael Hollinger, M.Sc.

Die Erzeugung elektrischer Energie durch PV-Anlagen zur Eigenversorgung ist wirtschaftlich und ökologisch interessant und seit vielen Jahren üblich, insbesondere bei Einfamilienhäusern. Ein wachsender Anteil dieser Einfamilienhäuser mit PV-Anlagen nutzt eine Batterie zur weiteren Reduktion des Strombezugs aus dem öffentlichen Stromnetz. Die Batterien speichern überschüssige Energie für die spätere Entnahme zur Deckung der Haushaltslast zwischen. Batterien allein zu diesem Zweck zu installieren und zu betreiben ist jedoch im Regelfall nicht wirtschaftlich und auch gesamtsystemisch nicht zwingend vorteilhaft.

Das Konzept zur Bereitstellung von Primärregelleistung (schnellste Art der Regelleistungsreserve) durch PV-Heimspeicher erschließt für die investitionsintensiven Speicher eine weitere Erlösquelle. Zudem leistet das Konzept einen Beitrag zu einer sicheren und kostengünstigen Energiewende, da erst die Übernahme der Systemdienstleistungen durch Speicher und erneuerbare Energien das (zeitweise) vollständige Herunterfahren der konventionellen Kraftwerke ermöglicht.

Die entwickelten Algorithmen setzen das Konzept der Nutzung der PV-Heimspeicher sowohl zur Erhöhung des lokalen Autarkiegrades als auch zur Bereitstellung von Primärregelleistung optimal um. Neben den Algorithmen zur Doppelnutzung wurde eine Pooling-Strategie für die optimale Bereitstellung elektrischer Leistung aus einer Vielzahl von Batterien entwickelt. Die Pooling-Strategie erhöht die Effizienz und vermeidet, dass einzelne Batterien an Kapazitätsgrenzen stoßen, während andere Batterien im Pool noch Kapazitätsreserven haben. Der entwickelte Algorithmus zur optimalen Nutzung regulativer Freiheitsgrade in der Bereitstellung von Primärregelleistung ermöglicht die Beeinflussung der in der Primärregelleistung bereitgestellten kumulierten Energie und damit den Verlauf des Speicherfüllstandes. Dies erlaubt es, den Speicherfüllstand zu stabilisieren, so die Resilienz des Pools zu erhöhen und Korrekturmaßnahmen zur Vermeidung von vollen oder leeren Batterien zu minimieren.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt das hohe ökonomische Potenzial sowohl der Doppelnutzung der Batterie als auch der Algorithmen zur Optimierung der Betriebsführung. Die Arbeit leistet zudem einen Beitrag zur Ermittlung der Auswirkung verschiedener regulativer Rahmenbedingungen hinsichtlich der vorzuhaltenden Speicherkapazität und der Freiheitsgrade in der Erbringung von Primärregelleistung.

Pooled PV home storage for the provision of primary control power

Raphael Hollinger, M.Sc.

The local production of solar energy by PV systems for self-supply with electrical energy is both economically and ecologically interesting and has been common for many years, especially in single-family houses. A growing proportion of these single-family houses with a PV system is using a locally installed battery to further reduce the electricity consumption from the public electricity grid. The batteries store the excess electricity from the PV system for later withdraw to cover the electrical load. However, to install and operate batteries alone for this purpose is often not economically feasible and also not necessarily beneficial from a systemic perspective.

The concept developed in this work to provide primary control reserve (fastest type of operating reserve) by PV home batteries can generate additional streams of revenue for the investment-intensive battery. In addition, the concept contributes to a secure and cost-effective energy transition, since only the provision of the ancillary services by storages and renewable energies enable the temporary shut down of conventional power plants.

The developed algorithms implement the concept of using PV home batteries, both for increasing the local degree of self-sufficiency and for providing primary control reserve optimally. In addition to the dual-use algorithms, a pooling strategy has been developed for the optimal provision of electrical power from multiple individual home batteries. This allows to maximize efficiency (especially with respect to the inverter efficiency) and prevents individual batteries from reaching capacity limits while other batteries in the pool still have capacity reserves. The development of an algorithm for the optimal utilization of regulative degrees of freedom in the provision of primary control reserve enables to influence the cumulative energy provided in the primary control reserve and thus the development of the state of charge. It can be used to stabilize the storage level, thus increasing the resilience of the pool and minimizing corrective measures to avoid full or empty batteries.

The cost-effectiveness analysis shows the high economic potential of both the double use of the battery and the algorithms for optimizing operation. The work also contributes to the assessment of the impact of different regulatory frameworks on storage capacity and the degree of freedom in the provision of primary control reserve.

Plasmaeigenschaften in Funkenstrecken unter Stoßstrombelastung

Tag der Prüfung: 02.05.2018

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

2. Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uhrlandt

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr. rer. nat. habil. Achim Enders

Tobias Runge, M.Sc.

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Plasmaeigenschaften in Funkenstrecken unter Stoßstrombelastung“ beschäftigt sich mit den Auswirkungen eines Stoßstromes auf die Plasmaeigenschaften in einer Funkenstrecke. Diese hier betrachteten Plasmaeigenschaften sind die Temperatur, der Druck, die elektrische Leitfähigkeit, die Energie und die Masse.

Bisherige Arbeiten zu den Plasmaeigenschaften in Funkenstrecken beschränken sich im Wesentlichen auf Untersuchungen zu Wechsel- und Gleichstrombelastung. Untersuchungen zu Impulsbelastungen fehlen bislang.

Die Untersuchungen dieser Arbeit finden an einer Modellfunkenstrecke statt. Die Geometrie der Brennkammer ist variabel ausgelegt. Somit können die Einflüsse verschiedener Geometrien auf die Plasmaeigenschaften untersucht werden. Diese sind der Ausblaskanalquerschnitt, die Kammerhöhe und der Elektrodenabstand. Neben den geometrischen Einflüssen auf das Plasma ist die Variation der Stoßstromamplitude Teil der Untersuchungen.

Die Temperatur, der Druck und die elektrische Leitfähigkeit des Plasmas werden messtechnisch erfasst. Die Variation der genannten Versuchsparameter gibt hierbei Aufschluss über die Abhängigkeiten. Durch diese Ergebnisse werden Näherungsgleichungen der Maxima aufgestellt. Eine erfolgreiche Überprüfung dieser Formeln anhand einer weiteren Funkenstrecke zeigt die mögliche Übertragbarkeit der Formeln.

Basierend auf den experimentellen Ergebnissen wird eine theoretische Betrachtung mittels Modellbildung durchgeführt. Diese gibt Aufschluss über die weiteren Plasmaeigenschaften Energie und Masse. Deren Verläufe beeinflussen die Temperatur, den Druck und die elektrische Leitfähigkeit und damit das Verhalten des Plasmas beziehungsweise der Funkenstrecke. Die Betrachtung der Abhängigkeiten der Plasmaeigenschaften von verschiedenen Versuchsparametern zeigen deren Zusammenhänge auf.

In dieser Arbeit ist es gelungen, die Zusammenhänge der Plasmaeigenschaften und Vorgänge unter Stoßstrombelastung herauszuarbeiten. Diese unterscheiden sich nicht von den Ergebnissen der Untersuchungen bei Wechsel- und Gleichstrombelastung.

Plasma properties in spark gaps under surge current load

Tobias Runge, M.Sc.

The present work titled “Plasma properties in spark gaps for surge currents” deals with effect of an applied surge current on the behaviour and dependences of the electrical conductivity, pressure, temperature, energy and mass of the plasma on different boundary conditions like current amplitude and dimension of the spark gap.

The investigations are done in a spark gap model with changeable dimensions. Thus the influence of the cross section of the outlet ducts, height of the spark gap and distance of the electrodes can be investigated. Next to the dimensions of the spark gap the influence of the surge current amplitude on plasma properties is part of this work.

The electrical conductivity, pressure and temperature are determined using experimental investigations. The dependences of their maximum are given in a formula in order to estimate these values at different spark gaps for surge currents. A first verification of these formulas is also done in this work. Based on the experimental results a theoretical investigation is made in order to determine the energy and mass of the plasma.

The results of the investigations show the coherences of the plasma properties and their dependences of surge current amplitude and dimensions of the spark gap. These can be used in order to understand the plasma behaviour during surge current and suppression of the follow current fed by the distribution grid.

Schalten von Gleichströmen in automobilen HV-Bordnetzen bis 500 V, unter Berücksichtigung der Lichtbogenwanderung im Doppelkontaktsystem

Tag der Prüfung: 26.11.2018

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

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Berger

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr. rer. nat. habil. Achim Enders

Hendrik Köpf, M.Sc.

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Der zunehmende Einsatz leistungselektronikbasierter Gleichspannungssysteme führt zu einem Bedarf an kompakten Schaltgeräten mit hoher Leistungsdichte. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem lichtbogenbehafteten mechanischen Schalten von Gleichströmen in Bordnetzen vollelektrifizierter Fahrzeuge bis 500 V. Untersuchungen in Simulation und Experiment erfolgen an einem Modellschaltgerät hinsichtlich Lichtbogenlöschung und -wanderung in einer Doppelkontaktschaltung.“

Zu Beginn der Arbeit wird ein Überblick über die technischen Randbedingungen eines HV-Bordnetzes für ein Schalt- und Schutzkonzept gegeben, sowie das Schalten von Gleichströmen in Bezug auf vorhandene Literatur erläutert. Anschließend wird der Prozess der Lichtbogenwanderung und im Speziellen der Kommutierung des Stroms von der Kontaktbrücke auf die Laufschiene als Teil des Löschvorganges mit Blick auf die Arbeiten anderer Autoren diskutiert. Basierend auf den ermittelten Vorgaben wird ein anwendungsnahes, kompaktes Modellschaltgerät für experimentelle Untersuchungen entworfen. Ein numerisches Berechnungsmodell für Magnetfeldberechnungen wird entwickelt, um die Experimente zu unterstützen. Abschließend werden die Funktion und Reproduzierbarkeit des Modellschalters in experimentellen Versuchen verifiziert. Experimente und deren Auswertung im Hochleistungs-Gleichstromprüffeld erfolgen unter der Zuhilfenahme von synchronisierten High-Speed-Aufnahmen. Verschiedene konstruktive Maßnahmen werden daraufhin zur Optimierung der Ausnutzung des selbsterzeugten magnetischen Blasfeldes B_s in der Schaltkammer durch numerische Berechnungen miteinander verglichen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Berechnungen wird die Optimierung der Schaltkammerausführungen in experimentellen Versuchen untersucht. Abschließend wird ein externes dauermagneterregtes Feld B_f am Schaltgerät appliziert. Numerische Berechnungen werden für konstruktive Modifikationen eingesetzt, deren Wirkung in experimentellen Untersuchungen analysiert wird. Der Vorgang der Lichtbogenwanderung und ihre wichtigen Teilprozesse beeinflussen die Erosion der Schaltkammer und damit das Schaltvermögen sowie die Schaltspielzahlen des Gerätes. Aus diesem Grund wird der Prozess der Kommutierung des Stroms von der Kontaktbrücke auf ein Laufschiensystem in einer Doppelkontaktschaltung modelliert und experimentell analysiert.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden abschließend zusammengefasst, kritisch hinterfragt und bezüglich der Verwertung diskutiert.

Switching of direct currents in automotive HV vehicle electrical systems up to 500 V, taking into account arc migration in the double-contact system

Hendrik Köpf, M.Sc.

The increasing application of power electronic based direct current grids leads to a demand for compact switchgear with high-power density. As a result, this thesis deals with the mechanical switching processes of DC currents in automotive powertrains of fully electrified vehicles with nominal voltages up to 500 V. A model switch with a double contact configuration will be investigated; considering arc quenching and switching behaviour in experiments and numerical calculations.

The paper begins with a detailed consideration of the technical requirements for switchgear and protective devices in a high-volt onboard powertrain. Subsequently, the fundamentals of DC switching will be explained. In regard to the work of other authors, the processes of arc wandering and current commutation, as a part of arc quenching, will be discussed afterwards.

Based on the specified technical requirements a compact model switch for experimental investigations will be designed. Additionally, a numerical calculation model will be developed to support the experimental research. Finally, the functionality and reproducibility will be confirmed in experimental tests. The experimental investigations will be conducted in a high power direct current test field with the aid of synchronised high-speed photographs.

The effects of different constructive methods will be evaluated to optimize the utilization of self-produced magnetic flux density B_s inside the switching chamber. For this purpose, numerical calculations will be compared in advance. Based on the results of the calculation, only the most efficient approaches will be researched further in experimental tests. As next step, permanent magnets will be applied to the switching chamber in order to create an externally generated magnetic field B_f . The results of this configuration will be analysed in additional experimental investigations. The procedure and processes of the arc wandering cause erosion of the switching chamber and thus, affect the number of possible switching cycles. That is the reason why the process of the current commutation in a double contact configuration from the contact bridge to the arc runner system has to be modelled and experimentally analysed.

The results of this thesis will be summarized, critically examined and implemented in sample switches.

Entwicklung einer Energieeffizienzkennzahl für PV-Batteriespeicher

Tag der Prüfung: 04.12.2018

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uwe Sauer

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Regine Mallwitz

Hauke Loges, M.Sc.

Die vorliegende Forschungsarbeit entwickelt eine Energieeffizienzkennzahl für PV-Batteriespeicher unter Nutzung repräsentativer Belastungsannahmen, die sowohl die Lade- als auch die Entladeverhältnisse am Batteriesystem widerspiegeln. Die Belastungsannahmen ermöglichen eine einfache Bewertung der Wirkungsgradkennlinien, die gemäß dem Effizienzleitfaden für PV-Batteriespeicher aufgenommen werden können.

Aus den gewichteten Teilwirkungsgraden lässt sich der gewichtete Batteriesystemwirkungsgrad (gBatS) bestimmen. Dieser ermöglicht einen Topologie übergreifenden Vergleich unterschiedlicher Batteriesysteme. Die Bestimmung des gewichteten Batteriesystemwirkungsgrads ist dabei transparent und zugleich einfach zu berechnen.

Die Notwendigkeit dieser Effizienzkennzahl resultiert aus nicht vorhandenen einheitlichen Datenblättern für Batteriesysteme sowie fehlenden verbindlichen Messvorschriften. Der Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme formuliert eine erste Prüfanleitung. Die gestellten Anforderungen an einen Effizienztest, insbesondere die Skalierbarkeit der Ergebnisse sowie ein überschaubarer Messaufwand, können mit diesem Test erfüllt werden. Eine repräsentative Kennzahl resultiert aus diesen Messergebnissen jedoch nicht. Der in dieser Arbeit durchgeführte Anwendungstest liefert zwar eine Kennzahl, die einen AC-System-Vergleich zulässt, weitere Anforderungen hinsichtlich Skalierbarkeit oder Messaufwand lassen sich aber nicht realisieren.

Anhand der Belastungsannahmen für einen Referenzhaushalt kann, in Kombination mit den Messergebnissen, die nach Anleitung des Effizienzleitfadens für PV-Speichersysteme bestimmt werden können, für jedes Batteriespeichersystem eine vergleichende Effizienzkennzahl ermittelt werden. Ergänzend zum gBatS werden in der vorliegenden Forschungsarbeit Berechnungsvorschriften für die Regelungseffizienz und dem Bereitschaftsverbrauch aufgestellt. Kombiniert man diese Kennzahlen zu einer dreidimensionalen Matrix, so lassen sich alle Batteriespeichersysteme in ein Energieeffizienzlabel einordnen. Dieses ermöglicht eine transparente und zugleich bekannte Darstellung der Effizienz des Batteriesystems anhand einer Farbskala.

Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit werden mittels einer Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Robustheit überprüft. Hierzu werden Auswirkungen unterschiedlicher Haushaltslastprofile sowie anderer Erzeugungssituationen untersucht. Die Ergebnisse der Analyse zeigen eine hohe Robustheit der Kennzahl gegen Abweichungen vom Referenzprofil.

Development of an energy efficiency index for PV battery storage

Hauke Loges, M.Sc.

The present research develops an energy efficiency index for PV battery storage systems representative load assumptions that reflect both the charging and discharging conditions of the battery system. The load assumptions allow a simple evaluation of the efficiency curves that can be recorded according to the PV battery storage efficiency guide.

From the weighted partial efficiencies, the weighted battery efficiency (gBatS) can be determined. This enables a comparison across different battery systems. The determination of the gBatS is transparent and at the same time easy to calculate.

The necessity of this efficiency indicator results from non-existent standardized data sheets for battery systems as well as missing binding measuring regulations. The efficiency guideline for PV storage systems formulates a first test lead. The requirements placed on an efficiency test, in particular the scalability of the results and a manageable measurement effort, can be met with this test. However, a representative ratio does not result from these measurement results. Although the application test carried out in this work provides a key figure that permits an AC system comparison, further requirements with regard to scalability or measurement effort cannot be realized.

Based on the load assumptions for a reference household, a comparative efficiency index can be determined for each battery storage system in combination with the measurement results that can be determined according to the instructions for the PV storage system efficiency guideline. In addition to the gBatS, calculation regulations for the control efficiency and the standby consumption are set up in the present research work. Combining these key figures into a three-dimensional matrix means that all battery storage systems can be classified in an energy efficiency label. This allows a transparent and at the same time known representation of the efficiency of the battery system using a color scale.

The results of this research are checked by means of a sensitivity analysis regarding the robustness. To this end, the effects of different household load profiles as well as other generation situations are examined. The results of the analysis show a high robustness of the characteristic against deviations from the reference profile.

4 Besondere Ereignisse 2018 – Special Events 2018

Außer den aufgeführten Ereignissen fand 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

15.-16.01.

Studienseminar WiSe 17/18, elenia

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel,

Wiss. Mitarbeiter

18.01.

2. Sitzung Akademie-Projekt Energiesysteme der Zukunft ESYS

AG(DE-) zentrale Energieversorgung, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

24.01.

Neujahrsempfang VDE Bezirksverein e.V., Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel,

Wiss. Mitarbeiter

26.01.

Exkursion Systemtechnik der Photovoltaik

Firma SMA-Solar-Technology AG, Niestetal

Teilnehmer: B. Engel, Studierende

29.01.

Blindleistungsseminar, Berlin

Referenten: B. Engel, H. Köppe,

O. Marggraf

30.-31.01.

Tagung Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien 2018, Berlin

Teilnehmer: B. Engel, O. Marggraf,

J. Wussow

07.-08.02.

Klausurtagung der Fakultät 5,

TU Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel,

O. Pronobis, Professoren der Fakultät 5

08.02.

Exkursion zur E-World (VL Energiewirtschaft und Marktintegration erneuerbarer Energien), Essen

Teilnehmer: J. Seidel, H. Herr,

Studierende aus der VL

12.02.

3. Doktorandentag der Battery LabFactory Braunschweig (BLB), Niedersächsisches

Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF), Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, J. Brockschmidt,

D. Hauck, L. Hoffmann, U. Westerhoff,

B. Rusanto

13.02.

Vorstandssitzung FNN, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

15.-16.02.

ETG-Vorstandssitzung, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

19.-22.02.

General Police Equipment Exhibition & Conference Messe, Frankfurt

Teilnehmer: O. Pronobis, J. Mummel

20.02.

Symposium des Forschungsvorhabens
NEDS - Nachhaltige Energieversorgung
Niedersachsen, Hannover

*Teilnehmer: B. Engel, C. Reinhold,
J. Seidel, B. Osterkamp, S. Diekmann*

22.02.

Neujahrsempfang des Bundesverbandes
Erneuerbaren Energien mit zukünftigen
Energieminister Altmaier, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

27.02.

Doktorprüfung Franziska Lobas-Funck,
geb. Funck, TU Braunschweig

Erstprüfer: B. Engel



05.03.

Workshop BS-Energy. BS-Netz u. Stadt
BS, Braunschweig im Wasserwerk

Teilnehmer: B. Engel, J. Seidel, J. Wussow

06.03.

Externes Treffen Young Docs, Niedersäch-
sisches Forschungszentrum Fahrzeugtech-
nik (NFF), Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, M. Alija, J. Brock-
schmidt, H. Herr, L. Hoffmann, M. Hoff-
mann, L. Kahl, O. Pronobis, F. Rauscher
J. Ries, B. Weber*

06.03.

FNN Tagung, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

08.03.

FNN Sitzung des Forums, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

14.03.

ESYS-Acatech 3. Sitzung, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

14.-15.03.

10. Göttinger Energietagung - "Ausschrei-
bungen - „Allzweckwerkzeug“ der Regu-
lierung", Göttingen

*Teilnehmer: B. Engel, H. Herr, L. Kahl,
J. Seidel*

15.-16.03.

AG Workshop Energietechnologien, Nie-
dersächsisches Forschungszentrum Fahr-
zeugtechnik (NFF), Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, Mitarbeiter der
AG Energietechnologien*

20.-21.03.

ZIEHL VI, Zukunft und Innovation der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern, Berlin

Teilnehmer: M. Kurrat, N.Hill

09.-11.04.

Konferenz Kraftwerk Batterie, Münster

Teilnehmer: J. Brockschmidt, L. Hoffmann

11.04.

11. Campuslauf, Braunschweig

Teilnehmer: B.Engel, H. Herr, F. Lobes-Funk, O. Marggraf, B. Weber

16.04.

Doktorprüfung Raphael Hollinger, TU Braunschweig

Erstprüfer: B. Engel

17.04.

17. Sitzung AG Systemsicherheit im Bundesministerium f. Wirtschaft und Energie, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

17.-18.04.

Forum EnergieSpeicher, Köln

Teilnehmer: J. Wussow

19.-20.04.

3. ProZell-Forschungskolloquium, Karlsruhe

Teilnehmer: L. Hoffmann, U. Westerhoff

25.-27.04.

PV Symposium, Bad Staffelstein

Teilnehmer: B. Engel, J. Wussow

26.04.

Pressegespräch zur Kooperation der TU Braunschweig mit BS Energy

Teilnehmer: B. Engel, J. Seidel



26.04.

7. CrHiVE (Cryogenic High Voltage Engineering) Treffen, TH Köln

Teilnehmer: N. Hill

02.05.

Doktorprüfung Tobias Runge, TU Braunschweig

Erstprüfer: M. Kurrat



15.05.

Konferenz zu PV-Eigenverbrauch, Paris
Podiumsteilnehmer: B. Engel

16.05.

Expertenworkshop Speichermonitoring, Aachen,

Teilnehmer: B. Engel, H. Herr, H. Loges

18.05.

Joint Workshop on HTS Power Apparatus and Systems, Cigre WG D1.64/D1.69 and IEC/TC90, Shanghai, China

Teilnehmer: N. Hill

18.05.

Jahrestreffen der Forschungsschwerpunkte des elenia, Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF), Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel,

F. Lienesch, alle Wiss. Mitarbeiter



20.-24.05.

Int. Conf. on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), Xi'An, China

Teilnehmer: N. Hill

22.-24.05.

Pfingstexkursion, Hamburg

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, A. Enders, B. Kühn, B. Weber, Studierende



29.05.

Ringvorlesung für Bachelorstudierende der Fakultät 5, Vorstellung elenia

Teilnehmer: B. Weber, J. Mummel, H. Köppe, O. Maggraf, Studierende

29.05.

Exkursion zur BLB im Rahmen der Vorlesung - Aufbau und Funktion von Speichersystemen, Braunschweig

Teilnehmer: L. Hoffmann, O. Pronobis, Studierende

29.05.-01.06.

EES-UETP Course on HVDC and HVDC Grids for Future Transmission, Leuven (Belgien)

Teilnehmer: M. Hoffmann

30.05.

Berufungskommission Gebäudetechnologie mit Berufungsvorträgen, Institut f. Landschaftsarchitektur, Braunschweig

Teilnehmer: B. Engel

31.05.

Einweihung des DLR-Instituts für Vernetzte Energiesysteme, Braunschweig

Teilnehmer: B. Engel

01.06.

FVV, Fakultät 5, Braunschweig

Teilnehmer: Dekan M. Kurrat, B. Engel

06.06.

Workshop mit Avacon, Salzgitter

Teilnehmer: B. Engel, L. Kahl, J. Seidel, B. Osterkamp, J. Wussow

07.-08.06.

FNN Förderkreissitzung, 10 Jahre FNN,
Berlin

Teilnehmer: B. Engel

12.06.

Exkursion Energylabs im Rahmen der
Vorlesung - Aufbau und Funktion von
Speichersystemen, Braunschweig

*Teilnehmer: H. Herr, L. Hoffmann,
O. Pronobis, F. Soyk, Studierende*

19.06.

ETG Vorstandssitzung, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

20.06.

Power2Drive, München

Teilnehmer: J. Wussow

20.06.

Doktorprüfung Markus Wagner,
TU München

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann

Zweitprüfer: B. Engel

21.06.

Doktorprüfung Jan van Appen,
Universität Kassel

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Martin Braun

Zweitprüfer: B. Engel

21.06.

Projekt-Kickoff BaSS, Braunschweig

Teilnehmer: F. Lienesch, L. Hoffmann

26.06.

Exkursion PTB im Rahmen der Vorlesung
- Aufbau und Funktion von Speichersyste-
men, Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, L. Hoffmann,
O. Pronobis, Studierende*



27.-28.06.

Studienseminar SoSe 18, elenia

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

29.06.

4. NFF-Fußball-Cup 2018, Braunschweig

*Teilnehmer: O. Pronobis, H. Herr, L. Hoff-
mann, B. Osterkamp, F. Rauscher, J. Ries,
B. Weber, J. Wussow, Studierende*



02.-04.07.

VDE/IEEE Power and Energy Student
Summit (PESS) 2018, Kaiserslautern

Teilnehmer: M. Hoffmann

04.07.

Battery LabFactory Braunschweig (BLB)
Vollversammlung, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, U. Westerhoff

05.-06.07.

Workshop Young Docs, Harz

Teilnehmer: M. Kurrat, Wiss. Mitarbeiter



30.07.

Exkursion der Vorlesung Elektrische Bahnen zu Alstom und zur Braunschweiger Verkehrs-GmbH

Teilnehmer: B. Engel, Studierende

13.-14.08.

AG-Klausur AG Energiesysteme, Kassel

Teilnehmer: B. Engel, Wiss. Mitarbeiter der AG Energiesysteme

15.08.

17. Behörden-Staffelmarathon, Braunschweig

Teilnehmer: Wiss. Mitarbeiter

23.08.

AG Zukunftslabor Energie, Oldenburg

Teilnehmer: B. Engel

28.08.

Cigre WG D1.64-Treffen im Rahmen der Cigre Konferenz, Paris

Teilnehmer: M. Kurrat

31.08.

PMO-Workshop, Braunschweig

Teilnehmer: B. Engel, M. Kurrat, J. Brockschmidt, J. Ries, F. Rauscher, B. Weber

02.-07.09.

International Conference on Gas Discharges and Their Applications, GD 2018, NoviSad

Teilnehmer: M. Alija

02.-07.09.

International Conference on Lightning Protection, Rzeszow (Polen)

Teilnehmer: M. Kurrat, E. Peters

Vortrag: T. Kopp

05.09.

Fachbeiratssitzung Kopernikus Projekt-ENSURE, Frankfurt

Teilnehmer: B. Engel

11.09.

Institutsworkshop Teambuilding-Event, Wolfsburg/Braunschweig

Teilnehmer: alle Mitarbeiter



11.09.

ESYS, Acatech, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

12.09.

3. Projektsteuerungsgruppe dena,
Plattform-Systemdienstleistung, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

13.09.

DaLion 5. Industrieworkshop,
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, L. Hoffmann,
U. Westerhoff*

13.-14.09.

ESYS-Energiesymposium, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

17.09.

1. Sitzung Blindleistungskommission, Bun-
desministerium f. Wirtschaft u. Energie,
Berlin

Teilnehmer: B. Engel

18.09.

Forschungsnetzwerke Energie -Workshop
Systemdienstleistungen, Projektträger
Jülich, Hannover

Teilnehmer: B. Engel

19.09.

ETG-FNN-Fachtagung "Netzintegration
E-Mobilität", Dortmund

*Teilnehmer: B. Engel, O. Pronobis,
J. Wussow*

20.-21.09.

NEIS 2018, Hamburg

*Teilnehmer: S. Celan, H. Köppe,
O. Pronobis*

21.09.

Energietechnisches Symposium,
Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel,
U. Reimers, Präsident der PTB,
Wiss. Mitarbeiter, Ehemalige und Partner*



23.-28.09.

International Symposium on Discharges
and Electrical Insulation in Vacuum
ISDEIV, Greifswald

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Kühn, B. Weber,
M. Hilbert*

24.-25.09.

EFZN-Workshop, Goslar

*Teilnehmer: B. Engel, J. Brockschmidt,
F. Soyck*

26.09.

31. Fachgespräch der Clearingstelle
EEG|KWKG "Elektromobilität – Heraus-
forderungen im Kontext von EEG und
KWKG", Berlin

Teilnehmer: O. Pronobis, J. Wussow

26.09.

IEEE Workshop "Stabile Netze mit Erneuerbaren Energien", Kassel

Teilnehmer: B. Engel, F. Rauscher, E. Rebak

26.09.

FNN-Expertenetzwerk „Unsymmetrie“, Berlin

Teilnehmer: L. Soleymani, B. Winter

01.-02.10.

4. ProZell-Forschungskolloquium, Münster

Teilnehmer: M. Kurrat, L. Hoffmann, U. Westerhoff

11.-12.10.

Klausur AG Energietechnologien „Wissenschaftsmanagement“, Lübeck

Teilnehmer: M. Kurrat, Wiss. Mitarbeiter der AG Energietechnologien

15.10.

2nd E-Mobility Power System Integration Symposium, Stockholm

Teilnehmer: B. Engel

16.10.

CIGRE Infoveranstaltung, Essen

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Weber

17.10.

Kick-off des DFG Projekt MoLiBoa, Darmstadt

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Weber

16.-17.10.

8th Solar Integration Workshop, Stockholm

Teilnehmer: B. Engel, F. Rauscher, J. Seidel, E. Rebak

18.10.

VDE/FNN Sitzung des Forums, Berlin

Teilnehmer: B. Engel

22.-23.10.

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) Jahrestagung: Batterieproduktion 2018, Esslingen

Teilnehmer: L.Hoffmann

24.10.

Einweihungsfeier elenia energy labs, TU Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel, Präsidentin der TU Braunschweig, Wiss. Mitarbeiter

26.10.

Absolventenfeier Fakultät ETIP, Braunschweig

Teilnehmer: Dekan, Wiss. Mitarbeiter, Studierende

06.-07.11.

Bundesweiter Workshop, Projekt lautlos&einsatzbereit, Erfahrungsaustausch zur E-Mobilität im Polizeieinsatz, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, J. Mummel, O. Pronobis

12.-13.11.

Vernetzungskonferenz Elektromobilität,
Berlin

*Teilnehmer: J. Mummel, O. Pronobis,
J. Wussow*

12.-14.11.

VDE Fachtagung Hochspannungstechnik,
Berlin

*Teilnehmer: M. Kurrat, B. Weber, T. Meyer,
M. Hilbert*

13.-14.11.

VDE Tec Summit, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, J. Mummel,
O. Pronobis*

13.-14.11.

ETG-CIRED-Workshop 2018:
Innovationen im Verteilnetz, Berlin

Teilnehmer: L. Soleymani

14.-16.11.

International Batterie Production Con-
ference 2018 (IBPC), Braunschweig

*Teilnehmer: M. Kurrat, L. Hoffmann,
U. Westerhoff*

15.-16.11.

Projekttreffen Netzregelung 2.0, Kassel

*Teilnehmer: B.Engel, F.Rauscher,
B. O. Winter*

20.-21.11.

PTJ-Statusseminar
„Zukünftige Stromnetze“, Berlin

*Teilnehmer: B. Engel, F. Rauscher,
C. Klosinski, J. Seidel*

22.11.

ETG-Vorstandssitzung

Teilnehmer: B. Engel

26.11.

Doktorprüfung Hendrik Köpf,
TU Braunschweig

Erstprüfer: M. Kurrat

28.11.

Doktorprüfung Xu Jiang,
Universität Bayreuth

*Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Mark Bakran
Zweitprüfer: B. Engel*

30.11.

Doktorprüfung Benjamin Schwake,
TU Clausthal

*Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
Zweitprüfer: B. Engel*

07.12.

FVV, Fakultät 5, Braunschweig

Teilnehmer: M. Kurrat, B. Engel

4.12.

Prüfung Dissertation Hauke Loges,
TU Braunschweig

Erstprüfer: B. Engel

13.12.

elenia Betriebsversammlung mit
anschließender Weihnachtsfeier,
Braunschweig

Teilnehmer: alle Mitarbeiter

4.2 Berichte von besonderen Ereignissen – Reports on Special Events

TU-Night 2018 - Wissenschaft weltoffen

Jonathan Ries, M.Sc.

Unter dem Motto "Vision und Wandel" hat am 16. Juni von 18 bis 1 Uhr die diesjährige TU-Night stattgefunden. Als Universität mit einer Vision präsentierte die TU Braunschweig ein vielfältiges Programm mit sechs Themenorten. Unter dem Themenort „Digitalisierung und Transformation“ war das elenia auch dieses Jahr wieder mit einem Stand vertreten. Eine Miniatur-Version des Marx-Generators sorgte für die nötige Aufmerksamkeit.

Interessierte konnten wie schon in den Jahren zuvor an einer Führung durch die Hochspannungshalle teilnehmen. Hier gab es beeindruckende Blitzentladungen bei bis zu 750.000 V zu bestaunen.

Am Stand selber wurde außerdem durch die Ausstellung des emilia-eGolfs in Kombination mit einem PV-Speichersystem dem Publikum das Thema Energiewende anschaulich vermittelt. Hieraus ergaben sich interessante Diskussionen rund um aktuelle Fragestellungen der Energietechnik.

TU Night 2018 - Science open-minded

Jonathan Ries, M.Sc.

According to the motto "Vision and Change", this year's TU Night took place on 16th June from 18 to 1 o'clock. As a university with a vision, the TU Braunschweig presented a varied programme with six subtheme locations. Under the subtheme "Digitisation and Transformation", elenia presented itself with a stand. A miniature version of the Marx generator provided the necessary attention.

As in previous years, interested visitors were able to take part in a guided tour of the high-voltage hall. On the tour there were impressive lightning discharges of up to 750,000 V to marvel at.

The exhibition of the emilia-eGolf in combination with a PV storage system at the stand itself also gave the public a vivid insight into the topic of energy system transformation. This resulted in interesting discussions on current energy systems technology issues.

Internationale Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Kasachstan - Besuch von Frau Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova

Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova

Im Zeitraum von Juni bis Juli besuchte die ehemalige Doktorandin aus Kasachstan Frau Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia im Rahmen eines DAAD-Stipendium für bilateralen Austausch von Wissenschaftlern.

Frau Dyussebekova promovierte im Jahr 2009 mit dem Thema „Integration von Mini-BHKW in die Niederspannungsnetze von Deutschland und Kasachstan“ bei Professor Kurrat. Zurzeit arbeitet sie als Lehrstuhlleiterin für Energietechnik und Professorin an der Kazakh National Technical Research University. Während ihres diesjährigen Aufenthalts am Institut arbeitete sie gemeinsam mit Herrn Soleymani an einer Simulation von elektrischen Mittelspannungsnetzen mit Einspeisungen von BHKW, Elektromobilität und Photovoltaik-Anlagen. Umgesetzt wurde dies mit der Software Power Factory innerhalb des Projektes „Energieeffizienter Campus“. Darüber hinaus interessiert sich Frau Dyussebekova für das Thema Blindleistungsmanagement und hat mit Frau M. Hoffmann und Herrn Köppe gemeinsam an diesem Thema gearbeitet.



Abbildung 21: Gespräch über weitere internationale Zusammenarbeit zwischen deutschen und kasachischen Universitäten

Figure 21: Discussion about further international cooperation between German and Kazakh universities

Weitere Schritte für gemeinsame Projekte zwischen Deutschland und Kasachstan wurden in Kooperation mit Prof. Kurrat und Dr. Hilbert besprochen. Für den nächsten Besuch von Frau Dyussebekova von Dezember 2018 bis Januar 2019 ist außerdem eine Zusammenarbeit mit Prof. Engel geplant.

International Cooperation between Germany and Kazakhstan - Visit of Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova

Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova

In the period from June to July, the former doctoral student from Kazakhstan, Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova, visited the Institute for High Voltage Technology and Electrical Power Systems - elenia as part of a DAAD scholarship for bilateral exchange of scientists.

Dr.-Ing. Dyussebekova received her doctorate in 2009 with the topic "Integration of mini cogeneration units into the low-voltage grids of Germany and Kazakhstan" under Professor Kurrat. Currently she works as a Chair of Power Engineering and Professor at the Kazakh National Technical Research University. During her stay at the institute this year she worked together with Mr. Soleymani on a simulation of medium voltage electrical networks with feeds from CHP, electromobility and photovoltaic systems. This was implemented with the Power-Factory software within the "Energy Efficient Campus" project. In addition, she is interested in the topic of reactive power management and has worked together with Ms. M. Hoffmann and Mr. Köppe on this topic.

Further steps for joint projects between Germany and Kazakhstan were discussed in cooperation with Prof. Kurrat and Dr. Hilbert. For the next visit of Dr.-Ing. Dyussebekova from December 2018 to January 2019 a cooperation with Prof. Engel is planned.

Workshop der YoungDocs

Benjamin Weber, M.Sc.

Young
DOCS

Am 05. und 06. Juli dieses Jahres ging es für die rasant gewachsene YoungDocs-Gruppe zum gemeinsamen Workshop in den Harz nach Hahnenklee. Dort wurde eine Jugendherberge mit Tagungsraum inmitten der Natur bezogen, in der die nun 15 YoungDocs und die drei Begleiter Platz fanden. Unter der Leitung von Prof. Kurrat und Herrn Kopp wurden Inhalte zum Thema Veröffentlichungen, Kommunikation unter Mitarbeitern und Prozesse im Institut erarbeitet. Besonders herauszustellen ist die tatkräftige Unterstützung von Frau Dyussebekova und Herrn Kopp, die durch ihre Erfahrung am Institut und in der Wissenschaft wertvolle Beiträge geleistet haben. Nachdem die Inhalte festgehalten und von allen verinnerlicht waren, konnte zum Freizeit- und Kennlernprogramm übergegangen werden. Teambuilding Spiele waren ebenso im Programm wie Speis und Trank in der wunderschönen Innenstadt von Goslar. Gestärkt und motiviert begab sich die zunehmend geselligere Gruppe in Richtung Schützenfest, wo das Abendprogramm mit verschiedenen Attraktionen endete. Zurück in der Unterkunft endet der Abend mit dem Zelebrieren zweier Geburtstage. Der zweite und letzte Tag begann und endete mit einer gemeinsamen Wanderung um den Burgberg in Bad Harzburg, wo auch das Gruppenfoto (Abbildung 22) entstand. Insgesamt konnten alle YoungDocs viel aus diesem Workshop für ihre Arbeit und Zusammenarbeit am Institut, aber auch für ihre persönliche Entwicklung mitnehmen.



Abbildung 22: Wanderung Gruppenbild auf den Burgberg

Figure 22: Group picture of a hiking tour on Burgberg

YoungDocs Workshop

Benjamin Weber, M.Sc.



On July 5th and 6th this year, the rapidly growing YoungDocs group held a joint workshop in the Harz Mountains in the small village Hahnenklee. A youth hostel with a conference room in the middle of nature hosted the 15 YoungDocs and their three fellows. Under the guidance of Prof. Kurrat and Mr. Kopp, topics concerning publications, communication among employees and processes in the institute were discussed. The energetic support of Mrs. Dyussebekova and Mr. Kopp, who have made valuable contributions through their experience at the institute and in science, deserves special mention. After the contents had been well documented and internalized by all, the participants were able to move on to the recreational and social activities. Teambuilding games were part of the program as well as food and drink in the beautiful city centre of Goslar. Strengthened and energized, the cheerful group headed for the fair, where the evening program ended with various amusing attractions. Back at the accommodation the evening ended with the celebration of two birthdays. The second and last day began and ended with a common hike around the Burgberg in Bad Harzburg, where the group photo was taken. Altogether all YoungDocs took a lot out of this workshop for their future work and cooperation at the institute, but also for their personal development.

Doktorandentage und Klausurtagung in Kassel

Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

Die diesjährige Klausurtagung am 13. und 14. August der Arbeitsgruppe Energiesysteme führte die 18 Teilnehmer nach Kassel. Schwerpunkt war die fachliche Diskussion ausgewählter Themen der einzelnen wissenschaftlichen Mitarbeiter. Die Doktorandentage starteten mit einer geführten Postersession. Anschließend wurde jeder Kurzvortrag in Groß- oder Kleingruppen diskutiert und besprochen. So verschafften sich alle einen umfassenden Überblick über die Forschungsvorhaben jedes Einzelnen und konnten wertvollen Input für die eigene Thematik einholen. Am Nachmittag stand das Team-Event an: Stand Up Paddling auf der Fulda. Selbstverschuldet oder mit fremder Mithilfe nahm jeder Teilnehmer ein Bad im kühlen Flusswasser. Trotz dieser kühlen Erfahrung hatten alle Teilnehmer Spaß und konnten aufgrund der Zeit auf den Paddling-Boards ihr Balancegefühl verbessern. Der Abend startete mit einem gemeinsamen Essen im Hotelrestaurant und wurde mit Tischfußball-Partien im Tagungsraum abgeschlossen. Der zweite Klausurtag begann mit der Fortsetzung der geführten Postersession und der anschließenden Diskussion. Der Fokus des zweiten fachlichen Teils der diesjährigen Doktorandentage lag auf einem ausgedehnten World-Café. Hier hatten alle Teilnehmer die Möglichkeit, eine selbst gewählte, spezifische Fragestellung in Gruppen zu diskutieren und Lösungsvorschläge oder Herangehensweisen zu erarbeiten. Abschließend wurde resümiert und die Ergebnisse vorgestellt.



Abbildung 23: Teilnehmer der diesjährigen AG-Klausur der AG Energiesysteme
Figure 23: Participants of this year's closed meeting of WG Energy Systems

Closed Meeting and Integrated Doctoral Days in Kassel

Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

18 participants went to Kassel for this year's 13th and 14th August meeting by the working group Energy Systems. The emphasis lay on the professional examination of selected topics by the young researchers. The two days were spent by presenting posters and elaborate debates in a world café. This gave the participants the opportunity for in-depth conversation and they gained important input on their research topics. In order to keep balance, the first afternoon was used for Stand-Up Paddling on the Fulda River.

4. Energietechnisches Symposium mit Ehemaligentreffen

Muhamet Alija, M.Sc.; Henrik Herr, M.Sc.

Auch in diesem Jahr wurde an das bewährte Konzept des Ehemaligentreffens der vergangenen Jahre angeknüpft und zum vierten Energietechnischen Symposium des elenia am Freitag, den 21. September an die TU Braunschweig eingeladen.

Nach dem Tod des ehemaligen Institutsdirektors Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind, welcher uns tief bewegt hat, haben sich das elenia und die PTB kurzerhand entschlossen das Symposium gemeinsam im Andenken an Prof. Kind zu veranstalten. So begann der erste Teil des Symposiums im Altgebäude der TU Braunschweig mit einer gemeinsamen Begrüßung der etwa 70 Gäste durch Prof. Engel und dem Präsidenten der PTB, Prof. Dr. Joachim Ullrich. Im Anschluss wurden das Lebenswerk und die Verdienste von Prof. Kind am Institut und während

der Zeit an der PTB in Vorträgen von Prof. Kurrat und Dir. u. Prof. PD Dr. Uwe Siegner (PTB) ausführlich gewürdigt.

Nach einer kurzen Pause bei Kaffee und Kuchen folgte dann der zweite Teil des Symposiums. Im zweiten Teil des Energietechnischen Symposiums gewährten uns die zwei Referenten und Lehrbeauftragten des Instituts Dr.-Ing. Christian Schulz (TenneT) und Dr.-Ing. Gunnar Bärwaldt (VW) spannende Einblicke in gegenwärtige Projekte und zeitaktuelle Fragestellungen. Herr Dr.-Ing. Schulz stellte in seinem Vortrag aktuelle Perspektiven und Herausforderungen in der Übertragungsnetzplanung vor, von der Netzanbindung von Offshore-Windparks bis hin zu innovativen Ansätzen in der Planung weitreichenden Übertragungsleitungen. Der Vortrag von Herrn Dr.-Ing. Bärwaldt beleuchtete die Interdisziplinarität der Netzintegration von Elektromobilität und gab dem Publikum einen Überblick über aktuelle Herausforderungen und insbesondere kommende Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität im Volkswagenkonzern. In den sich jeweils anschließenden Diskussionsblöcken konnte daraufhin - moderiert von Prof. Engel – noch weiter angeregt fachlich diskutiert werden.

Nach diesen spannenden Vorträgen gab es, wie für das Symposium üblich, bei Kaffee und Kuchen im Foyer die Möglichkeit alte Bekanntschaften zu pflegen oder neue Kontakte zu knüpfen. Beim anschließenden Rundgang durch das Netzdynamiklabor und das Synthetische Leistungsprüffeld des elenia erhielten die Gäste von den wissenschaftlichen Mitarbeitern Florian Rauscher, Benjamin Kühn und Benjamin Weber einen Einblick in aktuelle Forschungsthemen und Möglichkeiten der Labore und konnten darüber hinaus altbekannte Wirkungsstätten und in Erinnerung gebliebene Ausrüstungsgegenstände wiederentdecken.



Abbildung 24: Gruppenfoto der Teilnehmer des 4. Energietechnischen Symposiums
Figure 24: Group photo of the attendees of the 4th Energietechnisches Symposium

Die Abendveranstaltung fand in diesem Jahr wieder im Restaurant Parlament in Braunschweig statt, wo uns in einem gemütlichen Ambiente deftige und abwechslungsreiche Speisen serviert wurden. Bei dem einen oder anderen Getränk wurden noch bis spät in den Abend hinein viele interessante Gespräche geführt und Institutsgeschichten ausgetauscht.

Insgesamt können wir auf eine gelungene vierte Fortsetzung des Energietechnischen Symposium im Jahr 2018 zurückblicken und freuen uns schon jetzt auf das 5. Energietechnische Symposium am elenia.

4. Energietechnisches Symposium with alumni reunion

Muhamet Alija, M.Sc.; Henrik Herr, M.Sc.

As in previous years, the proven concept of the alumni meeting was continued this year and the elenia invited to the fourth edition of the Energietechnisches Symposium on Friday, 21 September at the TU Braunschweig.

After the death of the former institute director Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. Dieter Kind, which deeply moved us, the elenia and the PTB quickly decided to organize the symposium commemorating Prof. Kind. Thus, the first part of the symposium began in the well-known old building of the TU Braunschweig with a joint greeting of the approximately 70 guests by Prof. Engel and the President of the PTB, Prof. Dr. Joachim Ullrich. Subsequently, the life's work and the accomplishments of Prof. Kind at the Institute and during his time at PTB were honoured in presentations by Prof. Kurrat and Dir. and Prof. PD Dr. Uwe Siegner (PTB).

After a short break with coffee and cake, the second part of the symposium followed. In the second part of the Energietechnische Symposium, the two speakers and lecturers of the Institute Dr.-Ing. Christian Schulz (TenneT) and Dr.-Ing. Gunnar Bärwaldt (VW) gave us insight into current projects and current issues. In his presentation, Dr.-Ing. Schulz presented current perspectives and challenges in transmission grid planning, from the grid connection of offshore wind farms to innovative approaches in the planning of long-distance transmission lines. The presentation by Dr.-Ing. Bärwaldt highlighted the interdisciplinarity of the grid integration of electric mobility and gave the audience an overview of current challenges and in particular upcoming developments in the field of electric mobility in the Volkswagen Group. In the subsequent discussion blocks, moderated by Prof. Engel, further lively discussions were held. After these fascinating presentations, there was, as is usual for the symposium, the opportunity to meet old acquaintances or make new contacts over coffee and cake in the foyer. During the following tour through the network dynamics laboratory and the elenia's synthetic power test field, the guests were given an insight into current research topics and capabilities of the laboratories by the scientific staff members Florian Rauscher, Benjamin Kühn and Benjamin Weber and were also able to rediscover well-known sites of activity and memorable equipment.

The evening event took place again this year in the restaurant Parlament in Braunschweig, where we were served a variety of meals in a cosy atmosphere. Many interesting conversations were held until late in the evening and institute stories were exchanged.

All in all, we can look back on a successful fourth edition of the Energy Technology Symposium in 2018 and are already looking forward to the 5th Energietechnisches Symposium at elenia.

Strategieworkshop AG Energietechnologien

Dirk Bösche, M.Sc.; Benjamin Kühn, M.Sc; Dipl.-Ing. Tobias Kopp

Im Rahmen des früheren AG-Workshops mit dem Thema *Mitarbeiterzufriedenheit* wurde gemeinsam beschlossen einen auswertigen AG-Workshop an einem abgelegenen, ruhigen Ort zu unternehmen. Dieser wurde zur Weiterentwicklung und Ausgestaltung der Forschungsstrategien der einzelnen Forschergruppen genutzt.

Die Anreise zum gemeinsamen Ferienhaus in Pronstorf, in der Nähe von Lübeck, fand am Mittwoch den 10. Oktober statt. Dort angekommen wurden die Zimmer belegt und das gemeinsame Abendessen mit unserem neuen Institutsgrill zubereitet. Bei Gesellschaftsspielen klang der Abend dann gemütlich aus.

Am Donnerstag wurde nach dem gemeinsamen Frühstück in mehreren Welt-Kaffee-Runden intensiv an der Forschungsstrategie gearbeitet. Nach den zwar ergebnisreichen aber anstrengenden Stunden ist gegen Abend dann Lübeck besichtigt und das Gruppenfoto vor dem Holstentor bei strahlendem Sonnenschein aufgenommen worden.



Abbildung 25: Gruppenfoto AG Energietechnologien

Figure 25: Group photo working group energy systems

Die geführte Tour stand unter dem Motto „Lübeck und die Hanse“. Treffenderweise endete sie an der Schiffergesellschaft wo das gemeinsame Abendessen stattfand, um an frühere Traditionen anzuknüpfen. Wieder zurück in dem Ferienhaus wurde der restliche Abend genutzt, um gemeinsam Skat und Billard zu spielen, oder die Welt bei anspruchsvollen Gesellschaftsspielen von bösen Krankheiten zu befreien. Am Freitag sind die Ergebnisse des Workshops unter strahlendem Himmel zusammengefasst worden. Neben den Forschungsstrategien brachte der Workshop noch ein weiteres Ergebnis hervor, ein neues Wir-Gefühl.

Besonderer Dank gilt den Organisatoren Benjamin Kühn, Benjamin Weber und Tobias Kopp.

Strategy workshop of the working group energy technologies

Dirk Bösche M.Sc.; Benjamin Kühn, M.Sc.; Dipl.-Ing. Tobias Kopp

Within the scope of the former AG workshop on the topic of employee satisfaction, it was jointly decided to undertake an evaluative AG workshop at a quiet, extern location. This workshop was used to further develop and shape the research strategies of the individual research groups.

The journey to the joint holiday home in Pronstorf, near Lübeck, took place on Wednesday 10th October. Arrived, the rooms were occupied and the common dinner with our new institute grill was prepared. At board games the evening ended comfortably.

On Thursday, after breakfast, we worked intensively on the research strategy in several world coffee rounds. After the productive but exhausting hours, Lübeck was visited in the evening and the group photo was taken in front of the Holstentor in bright sunshine. The motto of the guided tour was "Lübeck and the Hanseatic League". It ended aptly at the Schiffergesellschaft where the common dinner took place in order to continue earlier traditions. Back in the cottage the rest of the evening was used to play skat and billiards together, or to free the world from bad diseases during challenging board games. On Friday, the results of the workshop were summarized under a blue sky. In addition to the research strategies, the workshop produced another result, a new sense of togetherness.

Special thanks to the organizers Benjamin Kühn, Benjamin Weber and Tobias Kopp.

elenia energy labs - Neue Laborkapazitäten im Bereich der Energieforschung

Frank Soyck, M.Eng.; Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

Am 01. August 2015 startete das Forschungsprojekt elenia energy labs mit dem Ziel, die Laborkapazitäten des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia zu erweitern. Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit einer Summe von knapp einer Million Euro gefördert und tatkräftig durch den Projektträger Jülich unterstützt. Als Ergebnis des Projekts steht dem elenia eine neue Laborumgebung zur Verfügung, die zum einen aus dem Netzdynamiklabor und zum anderen aus dem Energiemanagementlabor besteht. Trotz räumlicher Trennung sind durch leistungs- und datentechnische Kopplungen laborübergreifende Untersuchungen, wie z.B. die Auswirkungen eines Smart Building auf die Netzstabilität, möglich.

Netzdynamiklabor

Im Netzdynamiklabor werden schnelle, dynamische Vorgänge im Netz untersucht, um z. B. Rückschlüsse auf die Systemstabilität sowie das System- und Geräteverhalten bei Netzfehlern zu ziehen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Untersuchung von Regelkonzepten zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch PV-Umrichter und das Zusammenwirken verschiedener dezentraler Erzeugungseinheiten.



Abbildung 26: Netzdynamiklabor
Figure 26: Grid Dynamics Laboratory



Abbildung 27: Energiemanagementlabor
Figure 27: Energy Management Laboratory

Energiemanagementlabor

Das Energiemanagementlabor dient der Untersuchung von Energiemanagementkonzepten. Das Prosumer-Verhalten im Kontext der Elektromobilität, Lastmanagement sowie Speichermanagement stehen im Zentrum der Forschung. Weiterhin werden verschiedene Mess- und Zählkonzepte im Kontext des Energiemanagements untersucht.

Am 24. Oktober wurden die elenia energy labs nach langer Umbauphase feierlich eröffnet. "Mit den Versuchslaboren erweitert das elenia seine über 90-jährige erfolgreiche Geschichte um ein weiteres Kapitel. Die elenia energy labs sind ein wichtiger Mosaikstein für unseren Forschungsschwerpunkt 'Stadt der Zukunft'. So können wir eine nachhaltige Energieforschung vorantreiben, zum Beispiel beim Einsatz von Ladestationen für E-Autos in Wohngebieten", sagte Professorin Anke Kaysser-Pyzalla, Präsidentin der TU Braunschweig.

elenia energy labs - New Laboratory Capacities in the Field of Energy Research

Frank Soyck, M. Eng.; Gian-Luca Di Modica, M.Sc.

The project elenia energy labs started on August 1st, 2015, with the aim to expand the laboratory capacities of the elenia. The project was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy with an amount of almost one million euros and was actively supported by the PtJ. As a result of the project, elenia has access to a new laboratory environment consisting of the Grid Dynamics Laboratory and the Energy Management Laboratory. Inter-laboratory examinations, such as the impact of smart building on grid stability is possible despite the physical separation, as laboratories are connected by power and data cables.

Grid Dynamics Laboratory

In the grid dynamics laboratory, fast dynamic processes in the grid are investigated. Other research areas include the investigation of control concepts for the provision of system services by PV inverters and the interaction of various decentralized generation units.

Energy Management Laboratory

The energy management laboratory is used to investigate energy management concepts. Prosumer behavior in the context of electromobility, load management and storage management are at the center of research. Furthermore, various measurement and metering concepts are considered in the context of energy management.

On October 24, the elenia energy labs were officially opened.

5 Veröffentlichungen und Medienberichte – Publications and News

5.1 Veröffentlichungen und Vorträge – Publications

- 1) Osterkamp, B., Seidel, J., Engel, B.: Photovoltaikanlagen in der Regelleistung – Frequenzstützung mit Sonnenenergie, EW – Magazin für die Energiewirtschaft 2017. Jg. (2018), H. 12, S. 28-31
- 2) Kurrat, M.: Dielectric Simulation of Capacitive Switching Behavior for Vacuum Circuit Breaker, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 2017. Jg. (2018), H. 24, S. 3388-3394. DOI: 10.1109/TDEI.2017.006481
- 3) Kühn, B., Kurrat, M., Hilbert, M., Gramberg, I., Gentsch, D.: Characterization of Metal Vapor Deposition on Vacuum Interrupter Ceramics and Its Impact on Electric Field Distribution, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 2017. Jg. (2018), H. 24, S. 3333-3339. DOI: 10.1109/TDEI.2017.006486
- 4) Marggraf, O., Garn, T., Čelan, S., Engel, B., Ghourabi, I.: Blindleistungseinsatz zur statischen Spannungshaltung im Niederspannungsnetz Konzepte, Wirksamkeit und Teilnehmer, Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin, 30.-31. Januar 2018
- 5) Wussow, J., Engel, B.: Wie können PV-Speichersysteme die Netzintegration der Elektromobilität unterstützen?, Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin, 30.-31. Januar 2018
- 6) Reinhold, C., Wille, F., Engel, B., Eggert, F.: Empirische und Synthetische Lastprognose von nutzerabhängigen Verbrauchsgeräten, 15. Symposium Energieinnovation, Graz, 14.-16. Februar 2018
- 7) Klosinski, C., Hemdan, N., Kurrat, M., Meisner, J., Gerdinand, F.: Modular protection system for fault detection and selective fault clearing in DC microgrids, IET DPSP - The 14th International Conference on Developments in Power System Protection, Belfast, UK, 12.-15. März 2018
- 8) Loges, H.: Kurzbericht: Belastungsannahmen zur Effizienzbestimmung von Batteriespeichern, 19. März 2018
- 9) Wussow, J., Engel, B.: Synergieeffekte von Elektromobilität und PV-Speichersystemen zur Entlastung der Netze und Reduktion der Verluste, PV-Symposium, Bad Staffelstein, 24.-27. April 2018
- 10) Hoffmann, M., Rathke, C., Menze, A., Hemdan, N., Kurrat, M.: AC Fault Analysis of DRU-VSC Hybrid HVDC Topology for Offshore Wind Farm Integration, VDE/IEEE Power and Energy Student Summit 2018, Kaiserslautern, 3. Juli 2018
- 11) Weber, B., Pieniak, T., Kurrat, M., Gentsch, D.: Processing of the radiation intensity distribution and electrical data of high-current vacuum arc between transversal magnetic field contacts for software-based evaluation, 6th ITG International Vacuum Electronics Workshop, Bad Honnef, 5.- 7. September 2018
- 12) Kühn, B., Kurrat, M., Gentsch, D.: Combined field grading and field shielding for double breaking vacuum chambers under lightning impulse stress, 6th ITG International Vacuum Electronics Workshop 2018, Bad Honnef, 5.- 7. September 2018
- 13) Engel, B., Ohrdes, T.: Wirkungen von PV-Speichersysteme auf die Netzintegration der Elektromobilität, Niedersächsische Solarenergietage, Hannover, 6. September 2018
- 14) Engel, B., Wussow, J.: Wie können PV-Speichersysteme die Netzintegration der Elektromobilität unterstützen, ETG-FNN-Fachtagung - Netzintegration von E-Mobilität, Dortmund, 19. September 2018
- 15) Köppe, H., Martínez Fernández, J., Engel, B.: Technical and Economical Comparison of Reactive Power Provision with Variable Renewable Energy Power Plants and Compensation Systems, Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems – NEIS 2018, Hamburg, 20.-21. September 2018

- 16) Pronobis, O. – Kurrat, M.: Grid Supported Charging Management with Uncertainty Analysis, 20.-21. September 2018, NEIS Conference 2018, Hamburg
- 17) Kurrat, M., Hilbert, M.: Surface Conductivity Investigations of Deposition Layers on VCB Ceramics, Proceedings ISDEIV 2018, 27th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Greifswald, 23.-28. September 2018, S. 115-118.
- 18) Kühn, B., Kurrat, M., Gentsch, D., Hain, F.: Breaking Operations of a Double Break Vacuum Interrupter Test Setup Using a Belt Drive, XXVIII Int. Symp. on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, Greifswald, IEEE, 23.-28. September 2018, S. 631-634. ISBN 978-1-5386-4375-4
- 19) Methling, R., Pieniak, T., Weber, B., Kurrat, M., Franke, S.: Spectroscopic and Thermographic Analysis of Anode Spots from Visible to Infrared, XXVIII Int. Symp. on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, Greifswald, IEEE, 23.-28. September 2018, S. 439-442. ISBN 978-1-5386-4375-4
- 20) Kühn, B., Gentsch, D., Hilbert, M., Weber, B., Kurrat, M.: Novel Field Grading Shield Design for Double Breaking Vacuum Chambers under Lightning Impulse Stress, XXVIII Int. Symp. on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, Greifswald, IEEE, 23.-28. September 2018, S. 551-554. ISBN 978-1-5386-4375-4
- 21) Methling, R., Pieniak, T., Weber, B., Kurrat, M., Franke, S.: Spectroscopic and Thermographic Analysis of Anode Spots from Visible to Infrared, XXVIII Int. Symp. on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, Greifswald, IEEE, 23.-28. September 2018, S. 439-442. ISBN 978-1-5386-4375-4
- 22) Weber, B., Pieniak, T., Kurrat, M., Gentsch, D.: Software-based processing of the radiation intensity distribution of high-current vacuum arcs between transversal magnetic field contacts, XXVIII Int. Symp. on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV, Greifswald, IEEE, 23.-28. September 2018, S. 495-498. ISBN 978-1-5386-4375-4
- 23) Engel, B., Hankel, L., Marggraf, O.: Die neuen VDE-Anwendungsregeln des FNN zur Umsetzung der europäischen Netzkodizes - was können dezentrale Erzeugungsanlagen zur Systemstabilität beitragen? IEEE-Workshop Stabile Netze mit Erneuerbare Energien, Kassel, 26. September 2018
- 24) Rauscher, F., Rebak, E., Engel, B.: Impact of inverters with virtual synchronous machine control in low voltage grids, Solar Integration Workshop, Stockholm, 15.-16. Oktober 2018
- 25) Seidel, J., Engel, B.: Contribution of Photovoltaic Power Systems to Frequency Control, 8th Solar Integration Workshop, Stockholm, Schweden, 16.-17. Oktober 2018
- 26) Engel, B., Wussow, J.: Intelligente Koordination von E-Mobilität und Erneuerbaren Energien im Netz - Sind PV und Speicher Teil der Lösung? VDE Tec Summit, Berlin 14. November 2018
- 27) Soleymani, L., Kurrat, M.: Zukünftige Auswirkungen der Elektromobilität auf das Energieversorgungsnetz der Technischen Universität Braunschweig, ETG-CIRED-Workshop: Innovationen im Verteilnetz, Berlin, 13.-14. November 2018
- 28) Engel, B., Marggraf, O.: Das Projekt U-Control, 2. PTJ-Statusseminar „Zukunftsfähige Stromnetze“, Berlin, 20. November 2018
- 29) Engel, B., Bünemann, M., Seidel, J., Osterkamp, B., Poehling, S.: Das Projekt PV-Regel, 2. PTJ-Statusseminar „Zukunftsfähige Stromnetze“, Berlin, 20. November 2018
- 30) Engel, B., Grab, R., Köppe, H., Rogalla, S.: Das Projekt PV-Windsymbiose, 2. PTJ-Statusseminar „Zukunftsfähige Stromnetze“, Berlin, 20. November 2018
- 31) Kurrat, M., Klosinski, C., Meisner, J., Passon, S., Heinrich, A., Gerdinand, F.: Das Projekt SMS, 2. PTJ-Statusseminar „Zukunftsfähige Stromnetze“, Berlin, 20. November 2018

- 32) Hill, N., Kurrat, M.: Discharge Mechanisms in Liquid Nitrogen—Breakdown Field Strength of Gaseous Nitrogen, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 2018. Jg. (2018), H. 28, S. X. DOI: 10.1109/TASC.2018.2809460
- 33) Mummel, J., Kurrat, M., Roesky, O., Köhler, J., Soleymani, L.: Planning of the Energy Supply of Electric Vehicles, Hg. von Christoph Herrmann, Mark Stephan Mennenga, Sami Kara, Basel: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-72723-3
- 34) Kopp, T., Runge, T., Kurrat, M.: Analysis of Arc Behavior in a Model Spark Gap after Surge Currents, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology 2018. Jg. (2018), S. 1-5
- 35) Hill, N., Kurrat, M.: Discharge Mechanisms in Liquid Nitrogen—Breakdown Field Strength of Gaseous Nitrogen, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 2018. Jg. (2018), S. 1-5
- 36) Osterkamp, B., Loges, H., Engel, B.: Batteriespeicher - Rechtliche, technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Hg. von Böttcher, J., Nagel, P., Berlin/Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2018. ISBN 978-3-11-045848-0

5.2 Berichte in den Medien – News

Batteriebetriebene Autos sind Übergangsfahrzeuge

24.01.2018, Wolfenbütteler Zeitung

Forschungsprojekt „Fleets at Grid“ gestartet

18.09.2018, solarserver.de

BS Energy und TU Braunschweig: Flotte Flotte geschlossen am Netz

24.04.2018, Braunschweiger Zeitung

Wissenschaftler untersuchen die Stromnetze der Zukunft

24.10.2018, Giforner Rundschau

Flotte Flotte geschlossen am Netz

25.04.2018, Braunschweiger Zeitung

TU erforscht Stromnetze der Zukunft

25.10.2018, Braunschweiger Zeitung

Neue Herausforderungen für das Stromnetz

02.05.2018, Goslarsche Zeitung

F&E: Neues Labor für die Energieforschung

29.10.2018, E&M Powernews

Forscher: Verteilernetze robuster als Verbundnetze

17.08.2018, pv-magazine.de

Nachhaltige Enrgieforschung

30.10.2018, Goslarsche Zeitung

Unsere Cops schneller als alle anderen

17.08.2018, Braunschweiger Zeitung

Kontakt:

Technische Universität Braunschweig

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - elenia

Schleinitzstr. 23

38106 Braunschweig

Telefon: +49 531 391-7737

Telefax: +49 531 391-8106

elenia@tu-braunschweig.de

www.tu-braunschweig.de/elenia