

ZWEIJAHRESBERICHT 2015/2016

EVS:

- Stromrichter für Elektrofahrzeuge
- Hocheffiziente Konverter
- SiC & GaN Bauelemente
- Magnetische Bauelemente

e²n:

- Netzberechnungen und Netzsimulationen
- Planung und Betriebsführung elektrischer Netze
- Netzregelung und Netzwiederaufbau
- Leistungs- und Energiemanagement

AHT:

- Gel-Isolierstoffe für die Hochspannungstechnik
- Anlagenmonitoring und Lebensdauer von Komponenten
- Diagnoseverfahren für Smart-Grids und Fehlerprävention
- Zuverlässigkeitsbetrachtung von Versorgungsnetzen

INES:

- Systemtheorie der Energiewende
- Schlüsselfunktionen zukünftiger Energiesysteme
- Systematische Untersuchung der Energiesystemtransformation
- Bewertung, Strukturierung und Simulation

IMPRESSUM

Herausgeber:

Universität Kassel/University of Kassel
Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische
Energieversorgungstechnik (KDEE)
Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias, Prof. Dr.-Ing. Martin Braun,
Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi, Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann

www.kdee.uni-kassel.de

Sekretariate:

EVS: Tel. +49 561 804 6344 (Frau Anja Clark-Carina)
E-Mail: sekretariat.evs@uni-kassel.de
www.evs.uni-kassel.de

e²n: Tel. +49 561 804 6201 (Frau Kristina Torno)
E-Mail: kristina.torno@uni-kassel.de
www.e2n.uni-kassel.de

AHT: Tel. +49 561 804 6420 (Frau Svitlana Dippel)
E-Mail: sdippel@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/eecs/iee-aht

INES: Tel. +49 561 804 6182 (Frau Annette Petrat)
E-Mail: annette.petrat@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/integrierte-energiesysteme

Satz und Layout:

formkonfekt | konzept & gestaltung | Karen Marschinke | Kassel

Bilder:

Universität Kassel, iStockphoto

ZWEIJAHRESBERICHT 2015/2016

INHALTSANGABE

<p>Vorwort 4</p> <p>Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) 7</p> <p>Vorstellung Christian Nöding 12</p> <p>Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST) 13</p> <p>Forschungskooperationen 2015/2016 14</p> <p>ÖFFENTLICHKEITSARBEIT 17</p> <p>Free Skin Urban Glow 18</p> <p>Besuch Eva Kühne-Hörmann 19</p> <p>PCIM Preis 20</p> <p>Ehrenamtliches Engagement im Fachgebiet e²n 21</p> <p>IHK Wissenschaftspreis Dr.-Ing. Thomas Stetz (e²n) 22</p>	<p>F&E PROJEKTE 25</p> <p>Vorwort 26</p> <p>FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN EVS 29</p> <p>Das Fachgebiet EVS 30</p> <p>E²COGaN 32</p> <p>HHK: SiC-MOSFET-Modul 34</p> <p>HHK: Zuverlässigkeit 35</p> <p>FLIP: Halbleiter / AVT 36</p> <p>FLIP: Integrated Magnetics 37</p> <p>ECPE: Treiber 39</p> <p>ECPE: Kurzschluss Untersuchung 40</p> <p>ECPE: Zuverlässigkeit 41</p> <p>ECPE: Air and Hybrid Magnetics 42</p> <p>Ausblick auf neue Projekte ab 2017: NR2-RPC 43</p> <p>Ausblick auf neue Projekte ab 2017: HELENE 44</p> <p>Wissenschaftlicher Messgerätebau: Schaltzelle 45</p> <p>Wissenschaftlicher Messgerätebau: Kalorimeter 46</p> <p>Bordnetzwandler 47</p> <p>Steuerbare induktive Bauelemente 48</p> <p>Laborinfrastruktur: Elektrische Charakterisierung 49</p> <p>Laborinfrastruktur: Thermische Charakterisierung 50</p> <p>FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN e²n 53</p> <p>Das Fachgebiet e²n 54</p> <p>SysDL 2.0 56</p> <p>NETZ:KRAFT 57</p> <p>DREAM 58</p> <p>ANaPlan 59</p> <p>PrIME 60</p> <p>SimBench 61</p> <p>SmartGridModels 62</p> <p>pandapower 63</p> <p>OpSim / OpSimEval 64</p> <p>Microgrid Labor 66</p> <p>Einfluss von Photovoltaikanlagen auf die Kurzzeit-Spannungsstabilität 67</p> <p>Mehrebenenoptimierungen in Energieversorgungssystemen 68</p>
---	---

Mehrstufige aktive Verteilnetzplanung basiert auf einer risikoaversen Entscheidungsfindungsperspektive	69	<i>Weiwei Shan</i> : Gain-scheduling control for individual blade pitch control design for load reduction on large wind turbines	97
Auswirkung der Berücksichtigung von Kosten regelbarer Blindleistung aus Wind und Photovoltaik-Parks auf Betrieb und Planung von Verteilnetzen	70	<i>Yves-Marie Saint-Drenan</i> : A probabilistic approach to the estimation of regional photovoltaic power generation using meteorological data	98
FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN AHT	73	<i>Christian Nöding</i> : PV-Stromrichter höherer Leistung für 1.500V Systemspannung: Bewertung, Vergleich und Realisierung	99
Das Fachgebiet AHT	74	<i>Martin Roch</i> : Experimental Investigation of Augmented Electromagnetic Accelerators	100
Charakterisierung der Hochvolt-Fähigkeit von Pressmassen	76	<i>Michael Schreiber</i> : Design variabler Energie- und Leistungspreiskomponenten von Stromtarifen als Anreiz für ein systemdienliches Energiemanagement flexibler Verbraucher in Haushalten	101
Doublelayer	77	<i>Thiemo Kleeb</i> : Investigation on Performance Advantage of Functionally Integrated Magnetic Components in Decentralised Power Electronic Applications	102
Engineering Plastics as Electrical Insulators	78	<i>Kaspar Knorr</i> : Modellierung von raum-zeitlichen Eigenschaften der Windenergieeinspeisung für wetterdatenbasierte Windleistungssimulationen	103
Dynamisches Verhalten von PV-Quellen	79	<i>Dominik Geibel</i> : Bereitstellung von Zusatzfunktionalitäten durch multifunktionale PV-Batterie-Stromrichtersysteme in Verteilungs- und Industrienetzen	104
Fieseler Storch Flugsimulator	80	<i>Uwe Abraham Holzhammer</i> : Biogas in einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur mit hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien	105
Intelligente Überspannungsschutzgeräte (Smart SPDs)	81		
Monitoring von Freileitungen mit Unmanned Aerial Systems (UAS)	82		
Experimentelle Untersuchungen im Randbereich von Hochspannungsdurchführungen unter hohen elektrischen Feldstärken	84		
Smart Gel	85		
FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN INES	87	DOKUMENTATION	107
Das Fachgebiet INES	88	Aktuelle Abschlussarbeiten 2015/2016 EVS	108
Kopernikus ENavi: Systemintegration	90	Aktuelle Abschlussarbeiten 2015/2016 e ² n	115
		Aktuelle Abschlussarbeiten 2015/2016 AHT	117
		Aktuelle Abschlussarbeiten 2015/2016 INES	119
		Publikationen 2015/2016	121
ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN	93	MITAREITERINNEN UND MITARBEITER	129
<i>Dario Lafferte</i> : Auswirkungen der Netzintegration von Windkraftanlagen auf die Spannungsstabilität im nördlichen Verbundsystem Chiles	94		
<i>Jie Liu</i> : Investigation of Multiphase Power Converter using Integrated Coupled Inductor Regarding Electric Vehicle Application	95	IMPRESSIONEN	137
<i>Marita Wendt</i> : Ermittlung der Verlustleistungen in einem Synchron-Tiefsetzsteller mit Niedervolt-GaN-HFETs	96	Freizeitaktivitäten, Gruppenfotos und Veranstaltungen	137

VORWORT

Das Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) an der Universität Kassel wurde 2008 durch Ministerin Kühne-Hörmann (CDU) eingeweiht und im Januar 2009 als eigene Struktureinheit der Universität Kassel eingerichtet. Seither vollzog sich zunächst mit dem Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) eine gemeinsame Entwicklung. Diese Entwicklung wurde mit der Berufung von Prof. Dr.-Ing. Martin Braun im Jahr 2012 durch das Fachgebiet ‚Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze‘ (e²n) und 2015 mit Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi (Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik, AHT) und Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann (Fachgebiet Integrierte Energiesysteme, INES) ergänzt, um den Forschungsschwerpunkt Energiesystemtechnik in Nordhessen zu stärken.

Die Themen „Nutzung erneuerbarer Energiequellen“ und „Schonung von Ressourcen durch Effizienzsteigerung“ sind aktueller denn je.

Ursprünglich stand bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen die Bereitstellung von Wirkleistung mit höchster Effizienz im Fokus des Interesses. Viele systemtechnische Fragestellungen kommen jetzt hinzu. Aus Netzen, die durch große elektrische Maschinen dominiert wurden, werden Netze mit immer stärkerer Prägung durch leistungselektronische Energiewandler und volatile Energieflüsse. Je höher der Anteil volatiler Erzeuger an der installierten Gesamtleistung ist, desto stärker rücken auch Fragestellungen nach der Sicherung der Stabilität und Qualität der Netze in den Vordergrund. Hier sieht das KDEE zukunftsichernde Aufgabenfelder bei der Gestaltung des technischen Systems durch die Entwicklung von Stellgliedern, geeigneter Automatisierungstechnik und durch ein Regelwerk für die Interaktion der vernetzten energietechnischen Komponenten.

Der Zubau von dezentralen Elektroenergieerzeugern konnte bis ins Jahr 2010 wegen des noch relativ geringen Anteils bei flächiger Verteilung kaum wirkliche negative Auswirkungen haben. Durch die hohe Wachstumsrate beim Zubau dezentraler Energieeinspeiser hat sich diese Situation grundlegend geändert. Die häufig in der Öffentlichkeit durchgeführte Betrachtung von kumulierten Werten führt hier im Einzelfall nicht zu sinnvollen Lösungen. Verbrauch und Einspeisung von Energie in das elektrische Netz sind sowohl räumlich als auch zeitlich weitgehend unkorreliert. Gleichzeitig ist das Verbundnetz keine „kurze Kupferplatte“, sondern bildet ein „flächenhaftes“ elastisches System mit einer horizontalen Ausdehnung von mehreren 1000km. Es gibt zusätzlich auch eine „vertikale“ Ausdehnung durch die lokale hierarchische Ordnung der Übertragungs- und Verteilnetze in verschiedene Spannungsebenen mit jeweils eigener Netztopologie.

Weiterer Zubau setzt Systemkenntnis und Koordination voraus. Hierfür sieht sich das KDEE von der Seite der Grundlagenforschung über die Entwicklung neuer Prinziplösungen für Stellglieder und Systemkomponenten bis zu Fragen der Netzregelung, Qualitätssicherung und damit der technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Auslegung und Regelung dezentraler Energiesysteme in der Verantwortung.

Das Streben nach Energiewandlung mit höchster Effizienz zur Reduktion von CO₂-Emissionen und Kostensenkung überträgt sich aus dem Bereich der Erneuerbaren Energietechnik zunehmend auch in andere Bereiche. Neben der Wärmeversorgung durch Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen ist ein weiteres wichtiges Beispiel dafür der Automobilbau – mit oder ohne elektrischen Antrieb. Vermiedene Verluste bedeuten vermiedene Aufwendungen für Kühlung, geringere Masse und größere Reichweiten. Um diese Entwicklung voranzubringen, wirken das KDEE und seine Fachgebiete auch gleichzeitig im Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST) der Universität Kassel mit. Auch in der Industrieautomation, der Beleuchtungstechnik und der Medizintechnik führen Energieeinsparungen zu Kostenvorteilen, so dass hier weitere „spin-offs“ der bisherigen Forschungstätigkeiten zu erwarten sind.

Der deutlich erkennbare Trend, dass seit einigen Jahren immer mehr Interessenten für ein energietechnisches Studium zu verzeichnen sind, ist sehr erfreulich. Auch der Trend, einen merklich höheren Anteil als früher zum Master zu führen, ist an dieser Stelle hervorzuheben. Durch das KDEE werden eine Vielzahl klassischer und neuer energietechnischer Themen in Lehrveranstaltungen aufbereitet vermittelt, um den Nachwuchs für die systemtechnische Gestaltung der Energieversorgung der Zukunft zu sichern.

Es war daher eine weit vorausschauende Entscheidung des Landes Hessen durch das Hessische Ministerium für Wissenschaft und Kunst, gemeinsam mit der Universität Kassel, Wissenschaft und Forschung in diesen Bereichen durch Förderung und enge Kooperationsbeziehungen mit der Industrie auszubauen.

Das KDEE ist durch personelle Verknüpfung der Fachgebiete e²n und INES mit dem Fraunhofer IWES in einer engen Kooperation verbunden, so dass die Kompetenzen der führenden regionalen Forschungseinrichtungen im Themenfeld der dezentralen elektrischen Energieversorgung optimal aufeinander abgestimmt werden können, um mit dieser Standortstärke gemeinsam die Energiewende in Nordhessen, national und international voranzubringen.

Die Mitarbeiter und Studenten des EVS, e²n und KDEE fühlen sich der weiteren Stärkung der Zusammenarbeit der Universität Kassel mit anderen wissenschaftlichen Institutionen wie dem Fraunhofer IWES und Industrie-Unternehmen sowie der internationalen Sichtbarkeit ihrer Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet nachhaltiger Energieversorgung verpflichtet und danken ihren Förderern und Kooperationspartnern auf das Herzlichste.

FOREWORD

**Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Zacharias (EVS)**



**Prof. Dr.-Ing.
Martin Braun (e²n)**



**Prof. Dr.-Ing.
Albert Claudi (AHT)**



**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann (INES)**



The Centre of Competence for Distributed Power Technology (KDEE) at the University of Kassel was inaugurated by minister Kühne-Hörmann (CDU) in 2008 and was established as a distinct structural unit of the University of Kassel in January 2009. Since then a mutual development in cooperation with the Department of Electrical Power Engineering (EVS) has taken place. This development was further expanded 2012 with the appointment of Prof. Dr.-Ing. Martin Braun as head of the Department of Energy-Management and Power System Operation (e²n) and 2015 with Prof. Dr.-Ing. Claudi (Department of Systems and High Voltage Technology, AHT) and Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann (Department of Integrated Energy Systems, INES) to strengthen the focus of power engineering research in northern Hesse.

Topics around the utilization of renewable energy sources and the conservation of resources through an increase in efficiency are more relevant than ever.

Originally, the provision of active power with high efficiency has been the primary objective of the utilization of renewable energy sources. Additionally, many system oriented questions are now coming up. Electric grids that used to be dominated by large electrical machines are being transformed into grids that are increasingly characterized by power electronic converters and volatile power sources. The higher the share of the total installed capacity of volatile power sources that is provided by these converters the more questions concerning the stability and quality of the networks are brought to the centre of attention. Within this context, the KDEE sees future fields of activity in the design of technology through the development of power converters, suitable automation technology and a set of rules for the interaction of interconnected distributed components in the power system.

Until the year 2010 the addition of distributed generation units could not have significant negative consequences due to the high level of robust grid structures. As a consequence of the high growth rates in the addition of decentralised energy suppliers this situation has changed fundamentally. The analysis of cumulative values, as is frequently done publically, does not provide meaningful results for individual cases. Consumption of energy from the electrical grid and injection of energy into the grid are frequently uncorrelated in location as well as in time. At the same time, the European synchronous grid is no "short copperplate", but forms an extensive elastic system with a "horizontal" expansion of multiples of 1000 km. Additionally, a "vertical" dimension is added by the hierarchical structure of the underlying transmission and distribution systems of different voltage levels and network topologies. Further addition of decentralised energy providers requires knowledge of the system

and coordination. The KDEE feels responsible to address these issues by undertaking fundamental research ranging from the development of new principal solutions and equipment for power converters to questions concerning network control and quality assurance as well as the technical and economical optimization of the dimensioning and control of decentralised energy systems.

The pursuit of achieving energy conversion with high efficiency is increasingly being carried over from the field of renewable energy technology to other areas. Aside from the supply of heat by means of combined-heat-and-power and heat pumps the automotive industry – using electric drive systems or not – is another example. Reduced losses result in reduced expenditure for cooling, lower mass and increased operation ranges. To further this development the KDEE and its departments are actively involved in the research group Vehicle Systems (FAST) at the University of Kassel. In industry automation, lighting technology and medical technology energy savings also directly result in cost benefits.

Therefore, the noticeable trend of increasing interest of students to study power engineering is promising. It is also to be noted at this occasion, that a higher proportion of students than previously continue in the Master program. By KDEE are addressed many classic and new power supply related themes in lectures. This will reduce the shortage of skilled professionals, but is far from a long-term fulfilment of demand.

It was therefore a far sighted decision of the state of Hesse through the ministry of science and art, together with the University of Kassel, to expand science and research in these areas through sponsorship and close cooperation with industry.

The KDEE is in close collaboration with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology IWES through personal linkages with the department e²n and INES. This allows the competences of the leading regional research institutions in the topic area of decentralized electrical energy supply to be closely coordinated to use this regional strength to bring forward the transition to a sustainable energy supply in northern Hesse, Germany and beyond.

Staff and students of EVS, e²n and KDEE are committed to further strengthen the cooperation of the University with other academic institutions such as the Fraunhofer IWES as well as industrial companies and to internationally visualize their performance and their industrial and scientific environment in the field of sustainable energy technology and would like to thank their sponsors and partners most sincerely.

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

KDEE  Kompetenzzentrum für
Dezentrale Elektrische
Energieversorgungstechnik

EVS Elektrische
EnergieVersorgungsSysteme

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias

ANT Anlagen und
Hochspannungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi

en  Energiemanagement und
Betrieb elektrischer Netze

Prof. Dr.-Ing. Martin Braun

 Integrierte
Energiesysteme

Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann

Unter dem Dach der Universität Kassel und des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) befinden sich die vier Fachgebiete EVS, e²n, AHT und INES

KDEE



Kompetenzzentrum für
Dezentrale Elektrische
Energieversorgungstechnik

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS, PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel

KOMPETENZZENTRUM FÜR DEZENTRALE ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNGSTECHNIK (KDEE)

EVS



Lehre und Forschung im **Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS)** unter der Leitung von Prof. Zacharias sind ausgerichtet auf Anlagen und Systeme zur elektrischen Energieversorgung sowie auf die Entwicklung leistungselektronischer Bauelemente und Baugruppen für solche Systeme. Sie umfassen

dabei die Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (z.B. Sonne, Kleinwasserkraft, Biogas und Wind) sowie leistungselektronische Wandler in mobilen Anwendungsbereichen.

Ein Schwerpunkt der Grundlagenforschung ist die Modellierung des Verhaltens magnetischer Bauelemente auf Basis moderner ferromagnetischer Materialien. Ein Weiterer ist die hybride Versorgung von Antriebssystemen aus mehreren Energiequellen.

Das Fachgebiet EVS beschäftigt sich mit geräteorientierter Energiesystemtechnik für die Nutzung erneuerbarer Energien mit besonderem Schwerpunkt bei der Stromrichtertechnik in Hybridsystemen, im Verteilnetz und bei dezentraler Energiewandlung sowie in mobilen Energieversorgungssystemen.

Forschungsthemen

- Strukturelle Untersuchungen zu Versorgungssystemen und zur Energiewandlung
- Entwicklung von Einheiten zur Energieaufbereitung und deren Integration in Versorgungsnetze
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Regelung, Leistungsaufbereitung, Netzbildung und zum Energiemanagement elektrischer Energieversorgungs- und Energiespeichersysteme
- Untersuchungen und Simulationen zum stationären und dynamischen Komponenten- und Anlagenverhalten,
- Entwicklung von Wandleranlagen – speziell von Stromrichtereinheiten – sowie grundlegende Arbeiten zur Modularisierung und Auslegung von gesamten Versorgungsanlagen kleiner Leistung

Teaching and research activities in the department EVS under the coordination of Prof. Zacharias are focused on subsystems and systems for electrical power supply and on development of power electronic components and devices for such systems. These include especially the development of methods to use renewable energy sources (e. g. solar energy, small-hydro power, biogas and wind) and power electronic converters for mobile applications.

One focus of basic research is modeling the performance of magnetic devices based on new ferro-electric materials. Another is hybrid power supply of drive systems based on several power sources.

The department EVS is engaged in the development of device-oriented energy system technologies for the use of renewable energy sources with special focus on power converter technology in hybrid systems, in power systems and in decentralized energy conversion in mobile power systems.

Main emphasis

- *Structural investigations about power supply and energy conversion systems*
- *Development of systems for energy conditioning and their integration in the supply grid*
- *Theoretical and experimental investigations of control, power conditioning, grid simulation and energy management from electrical supply and storage systems*
- *Investigation and simulation of stationary and dynamic behaviour of components and systems*
- *Development of power converters as well as basic sizing and modularization of low power supply systems*



Das **Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n)** unter der Leitung von Prof. Braun vertritt in Forschung und Lehre die Analyse sowie die technisch und wirtschaftlich optimierte Auslegung, Regelung und Betriebsführung des zukünftigen dezentralen Energieversorgungssystems (SmartGrid) mit hohem Anteil erneuerbarer Energien.

Das Fachgebiet e²n entwickelt Modelle und Simulationswerkzeuge zur Analyse und Beschreibung des Systems in allen Zeitskalen und Systemebenen sowie Werkzeuge zur multikriteriellen Optimierung der Auslegung, Regelung und Betriebsführung (inkl. Methoden der Komplexitätsreduktion).

Schwerpunkte

- Regelung und Auslegung von Erzeugern, Verbrauchern, Speichern und Netzbetriebsmitteln zur Bereitstellung von Energie- und Netzdienstleistungen
- Verfahren für Energiemanagement und Netzbetrieb / Automatisierungslösungen in dezentralen Versorgungsstrukturen mit verschiedenen Aggregations- und Anreizkonzepten
- Verfahren für automatisierte Netzplanung / optimiertes Systemdesign
- Lösungen für robustes Systemverhalten im Fehlerfall und für den Netzwiederaufbau

The department Energy Management and Power System Operation (e²n) under the coordination of Prof. Braun focuses in teaching and research on the technically and economically optimized design and control of the future decentralized energy supply system (smart grid) with a high percentage of renewable energies.

The department e²n develops models and simulation tools for the analysis and description of systems at different time scales and system levels, as well as tools for multi-objective optimization, design, control and management (including methods for reduction of complexity).

Main emphasis

- *Control and design of generation, consumer, storage and grid facilities for the provision of energy and ancillary services*
- *Approaches for energy management and grid operation / automation solutions in decentralized supply structures with different concepts such as aggregation and incentive-based concepts*
- *Concepts for automated grid planning / optimal system design*
- *Solutions for robust system response in case of failure and for grid restoration*

ANT



Im **Fachgebiet Anlagen- und Hochspannungstechnik (AHT)** werden unter der Leitung von Prof. Claudi Fragestellungen des weiten Gebiets der Hochspannungsnetzübertragung bearbeitet. Neben der Berechnung und Auslegung von Übertragungssystemen werden Isolationsmaterialien hinsichtlich ihrer Festigkeit

untersucht. Gele haben gegenüber konventionellen Isolierstoffen einige vielversprechende Eigenschaften, die sie für den Einsatz in der Mittel- und Hochspannungstechnik interessant machen. Das Fachgebiet arbeitet seit dem Jahr 2001 schwerpunktmäßig auf diesem Gebiet. Die Forschungsarbeiten wurden dabei begleitet von Applikationsprojekten, die in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industrieunternehmen bearbeitet wurden.

Das Monitoring von Anlagen und elektrischen Netzen ist zudem ein wichtiger Bestandteil in der sich ändernden Netzstruktur auf dem Weg zu den SMARTGRIDS der Zukunft. Es verfolgt unterschiedliche Zielsetzungen der Reduktion von Wartung und Instandsetzung, Erhöhung der Zuverlässigkeit, bessere Auslastung von Netzen und Erhöhung der Lebensdauer von Komponenten. Gegenüber reinen Messsystemen sind Monitoringsysteme in der Lage, den Zustand einer Anlage oder eines Netzes zu bewerten und ggf. entsprechende Maßnahmen automatisch auszulösen.

Forschungsthemen

- Gele als Isolierstoff für die Mittel- und Hochspannungstechnik
- Lebensdaueruntersuchungen an flüssigen und festen Isoliermaterialien
- Monitoring von Trenn- und Leistungsschaltern
- Diagnose elektrischer Traktionsmotoren mittels Teilentladungsmesstechnik
- Modellierung und Berechnung elektrostatischer Felder, sowie elektrischer Energieversorgungsnetze

The department of Power Systems and High Voltage Technology examines themes of the broad field of high-voltage transmission under the direction of Prof. Albert Claudi. In addition to the calculation and design of transmission systems, insulation materials are tested for their withstand capability. Gels have some promising properties compared to conventional insulating materials, which make them interesting for use in medium and high voltage engineering. Since 2001 the department has been working within this field of interest. The research work was accompanied by application projects, which were carried out in cooperation with various industrial companies.

The monitoring of plants and electrical networks is also an important part of the changing network structure on the way to the SMARTGRIDS of the future. It pursues different objectives of reducing maintenance and repair, increasing reliability, better utilization of networks and increasing the service life of components. In contrast to pure measuring systems, monitoring systems are capable of evaluating the state of a system or a network and, if necessary, initiating appropriate actions automatically.

Main emphasis

- Gels as insulating material for medium and high voltage applications
- Investigations on life expectancy of liquid and solid insulating materials
- Monitoring of plants and electrical networks
- Durability tests on liquid and solid materials
- Modelling and calculation of electrostatic fields, as well as electrical power supply networks



Das **Fachgebiet Integrierte Energiesysteme (INES)** erfüllt unter der Leitung von Prof. Hoffmann eine zentrale Rolle als Verbindung zwischen der Universität Kassel und dem Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Auf der Grundlage eines Forschungs- und Lehrangebotes im Bereich einer „Systemtheorie der Energiewende“ sollen Fachkräfte ausgebildet werden, die in den sich neu entwickelnden Schlüssel-funktionen des zukünftigen Energiesystems Verantwortung übernehmen können. Hierbei unterstützt die Verbindung zum Fraunhofer IWES, in welchem auf der Basis dieser Grundlagenforschung an-wendungsrelevante Dienstleistungen, Lösungen und Vorprodukte weiter entwickelt werden können. Diese enge Verknüpfung zum Fraunhofer IWES erhöht die Bandbreite der Zusammenarbeit, von der studentischen Abschlussarbeit bis hin zur Promotion.

The department of Integrated Energy Systems, under the direction of Prof. Hoffmann, plays a central role as a link between the University of Kassel and the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Engineering (IWES). On the base of research and teaching in the area of a “system theory of energy transition”, specialists are to be trained so they can assume responsibility in the newly developed key functions of the future energy system. The department is supported by the connection to Fraunhofer IWES, in which, on the base of this research, application-relevant services, solutions and pre-products can be further developed. This close relationship with the Fraunhofer IWES increases the range of cooperation, from the student thesis to the graduate thesis.

Ansprechpartner
 PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS, PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel
VORSTELLUNG DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING

title
PRESENTATION OF DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING

Seit November 2016 verstärkt Dr.-Ing. Christian Nöding das Team des KDEE/EVS im Bereich der Forschung und Lehre und tritt somit die direkte Nachfolge von Dr.-Ing. Mathias Käbisch an.

Er studierte zwischen 2003 und 2009 Elektrotechnik mit Schwerpunkt Energietechnik an der Universität Kassel und arbeitete seit Oktober 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am EVS. In den vergangenen Jahren forschte er im Bereich der regenerativen Energien mit Schwerpunkt der DC/AC- und DC/DC-Stromrichter, sowie dem wissenschaftlichen Gerätebau. Er promovierte Anfang 2016 erfolgreich im Bereich der PV-Stromrichtertechnik mit Fokus auf eine höhere PV-Systemspannung von 1.500V und der damit einhergehenden neuen Anforderungen an die eingesetzten Halbleiter.

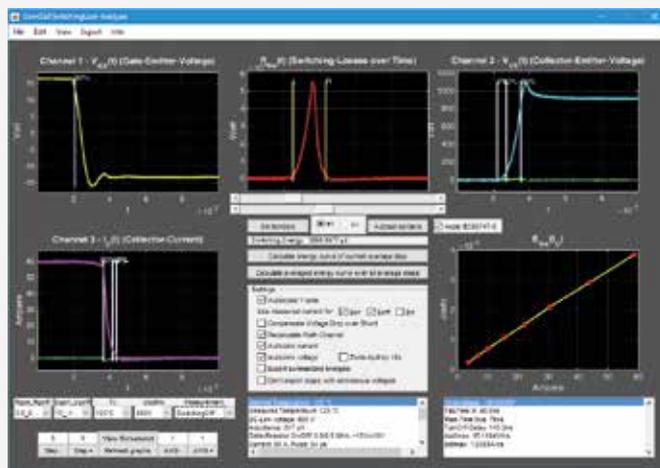
Neben der Betreuung von Studien- und Abschlussarbeiten wird Dr. Nöding zukünftig die Lehre am Fachgebiet KDEE/EVS im Bereich der Grundlagenvorlesung, Windkraft- und Brennstoffzellentechnik übernehmen.



Since November 2016 Dr.-Ing. Christian Nöding strengthens the KDEE/EVS team in the research and teaching areas and is thus the direct successor of Dr.-Ing. Mathias Käbisch.

He studied electrical engineering with a focus on power engineering at the University of Kassel between 2003 and 2009 and worked at EVS as a research assistant since October 2009. In the past years he conducted research in the area of renewable energy with a focus on DC/AC and DC/DC converters as well as the manufacture of scientific equipment. He earned his doctorate in early 2016 in the area of PV converter technology with a focus on increased PV system voltages of 1.500V and the associated requirements on the utilized semiconductors.

In addition to the supervision of student research projects and student thesis Dr. Nöding will in the future take over teaching in the areas of basic lectures as well as wind power and fuel cell technologies.



Softwareentwicklung für wissenschaftlichen Gerätebau.
 Software development for scientific devices.



Laborprototyp einer FPGA-Ansteuerung für leistungselektronische Schaltungen.
 Laboratory prototype of a FPGA-control for power-electronic circuits.

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**DIE FACHGEBIETE DES KDEE SIND EBENFALLS
MITGLIEDER DES FORSCHUNGSVERBUNDS
FAHRZEUGSYSTEME (FAST)**

title

**ALL DEPARTMENTS OF KDEE ARE ALSO
MEMBER OF THE RESEARCH ASSOCIATION FOR
VEHICLE SYSTEMS (FAST)**

Der Fahrzeugbau ist eine in Deutschland etablierte Schlüsselindustrie, deren Bestand und Wachstum entscheidend bestimmt wird durch die Entwicklung von Technologien zur Funktionsverbesserung durch mechatronische Systeme, alternative Antriebstechniken sowie Konzepte zur Verbrauchsoptimierung und zur Einsparung von Primärenergie, Emissionen sowie Reibungsverlusten.

Ein Schlüssel zum vertieften Verständnis der komplexen mechanischen, elektronischen und fluidmechanischen Prozessabläufe sowie zur Verkürzung der Entwicklungsabläufe sind rechnergestützte und experimentelle Simulationstechniken für virtuelle Fahrzeug- und Motormodelle.

Durch Bündelung der an der Universität Kassel vorhandenen Kompetenzen in den Bereichen Motormechanik und Fahrzeug-Elektrik/Elektronik wollen die beteiligten Institute Methoden und Verfahren des System Engineering zur industriellen Praxisreife entwickeln und bis zur industriellen Einführung begleiten. Wichtige Aspekte sind dabei auch effiziente elektrische und thermische Fahrzeugkomponenten, Weiterentwicklung von Energiemanagementsystemen sowie die Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromversorgungssystem.

In einer Ringvorlesung „Komponenten und Systeme in konventionellen und elektrischen Fahrzeugen“ stellen Fachgebiete aus den Fachbereichen 15 und 16 der Universität Kassel die unterschiedlichen Disziplinen im Automobil vor. Die Fachvorträge erläutern das komplexe Zusammenspiel der elektrischen und mechanischen Komponenten im Fahrzeug und stellen die daraus entstehenden Herausforderungen und Lösungsansätze dar. Die Ringvorlesung richtet sich an Studenten der Fachrichtungen Elektrotechnik, Mechatronik und Maschinenbau. Sie ist aber auch für andere Studenten und Gasthörer geeignet, die sich für ein umfassendes, technisches Hintergrundwissen im Automobilbereich interessieren.



Vehicle manufacturing is an established key industry in Germany, whose stability and growth depends on the development of technologies to improve the functionality using mechatronic systems as well as the development of alternative drive technologies and concepts to optimize consumption, to save primary energy and to reduce emissions and minimize friction losses.

Computer based and experimental simulation techniques for virtual vehicle and engine models are a key to a deep understanding of complex mechanical, electronic and fluid dynamic processes and to shorten the development process. Important aspects are also efficient electrical and thermal vehicle components, further development of energy management systems and the integration of electric vehicles into the power supply system.

By combining the existent competences in the areas of engine mechanics and vehicle electrics/electronics at the University of Kassel the involved institutes want to develop methods and processes in systems engineering to industrial maturity and accompany the initial application of these in industry.

In a lecture series titled "Components and Systems in conventional and electrical vehicles" the departments of the faculties of mechanical and electrical engineering and computer science (faculties 15/16) at the University of Kassel present the different disciplines in vehicle manufacturing. The lectures explain the complex interaction of electrical and mechanical components in a vehicle and illustrate the resulting challenges as well as possible solutions. The lecture series is aimed at students of the disciplines of electrical, mechatronic and mechanical engineering. However, it is also suitable for students and other guest auditors interested in comprehensive technical background knowledge of vehicle manufacturing.

<http://fast.uni-kassel.de/>

Ansprechpartner
 PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS, PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel
FORSCHUNGSKOOPERATIONEN

title
RESEARCH COOPERATIONS

Das KDEE entwickelt gemeinsam mit anderen Instituten und Fachgebieten aus der Universität Kassel heraus zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) gerätetechnische Lösungen für die Netzintegration von Erneuerbaren Energiequellen. Dies wird auch durch eine personelle Verknüpfung erreicht. So ist Prof. Dr. rer. nat. Hoffmann gleichzeitig Direktor des Fraunhofer Instituts IWES in Kassel, während Prof. Dr. Martin Braun Abteilungsleiter Betrieb Verteilungsnetze am Fraunhofer IWES ist.

Mit dem regionalen Netzwerk „deENet – Energie mit System“ (www.deenet.org) wird in enger Kooperation für den Transfer wissenschaftlich-technischer Ergebnisse aus der Universität in die Region gesorgt. Die bereits bestehenden langjährigen Kooperationen mit der SMA Solar Technology AG, Städtische Werke Kassel, Schneider Electric, EAM, AREVA, POLYMA im Bereich der dezentralen Versorgungssysteme sowie der Infineon AG werden ausgeweitet und auf weitere Partner erweitert.

Zielstellung ist es dabei, den Schwerpunkt der Energietechnik bei der Wertschöpfung in der Region weiter deutlich auszubauen, um so dieses regionale Profil bildende Element zu stärken. Die entstehenden Schutzrechte werden über die UniKasselTransfer GmbH vermarktet.

Im Bereich der elektrischen energietechnischen Aufgabenstellungen in mobilen Anwendungen für die Bordversorgung und die Traktion wird die Zusammenarbeit mit Volkswagen AG in Baunatal in Verbindung mit dem Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST) weiter ausgebaut. In Verbindung von Forschung und Lehre werden auch in Kooperation mit den Unternehmen besonders befähigte Mitarbeiter dieser Unternehmen zur Promotion geführt und Themen aus diesen Unternehmen innerhalb von EVS und KDEE zur Promotion angeboten.

Together with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Engineering (IWES), the KDEE develops together with other institutes and departments of the University of Kassel equipment engineering solutions for the grid integration of renewable energy sources. This is also achieved by a personal link. For example, Prof. Dr. rer. Nat. Hoffmann is acting also director of the Fraunhofer Institute IWES in Kassel, while Prof. Dr. Martin Braun is Head of Division of Distribution Networks at Fraunhofer IWES.

The KDEE, together with the EVS from the University of Kassel along with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES), will develop in cooperation device-related solutions for the grid integration of renewable energy sources. By means of close cooperation with the regional network deENet (www.deenet.org), the transfer of scientific-technical results from the university to the region will be ensured

The purpose of these cooperations is to develop the core areas of energy technology thus boosting the region of Kassel.

In the branch of electrical energy technology for mobile applications, the activities related to on-board power systems and traction will be further expanded in cooperation with Volkswagen AG in Baunatal and the Research Association for Vehicle Systems (FAST) inside the University of Kassel.

Connecting research and teaching activities, specialized and talented employees of those companies have the possibility to develop their PhD work inside KDEE and EVS.



Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e. V.
 gegründet 2003 in Kassel
Network of Competence on Decentralized Energy Technology e. V. founded in 2003 in Kassel



Forschungsverbunds Fahrzeugsysteme (FAST)

Die Förderung von Wissenschaft und Forschung ist Ziel der Stiftung Kleinkauf mit Sitz in Kassel. Dabei steht insbesondere die Erforschung und der Einsatz erneuerbarer Energien sowie die Energieeffizienz im Fokus. Das KDEE dankt der Kleinkauf-Wissenschaftsstiftung für seine Unterstützung bei der Entwicklung langfristiger Themen der Grundlagenforschung.

The promotion of science and research is the goal of the foundation Kleinkauf, based in Kassel. In particular, research and the use of renewable energies as well as energy efficiency are the focus. The KDEE is thankful to the Kleinkauf-Foundation for supporting developments of long term fundamental research themes.

Nationale und Internationale Kooperation

Eine Präsenz in den folgenden Organisationen ist bereits vorhanden:

- European Academy of Wind Energy (EAWE)
- European Centre of Power Electronics (ECPE)
- European Power Electronic and Drives Association (EPE)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- Verband Deutscher Ingenieure (VDI)
- Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) bzw. der Energietechnischen Gesellschaft (ETG)
- Conseil International des Grands Réseaux Électriques (Internationaler Rat für große elektrische Netze, CIGRÉ)
- Congrès international des réseaux électriques de distribution (Internationale Konferenz für Stromverteilung, CIRED)

National and international cooperations

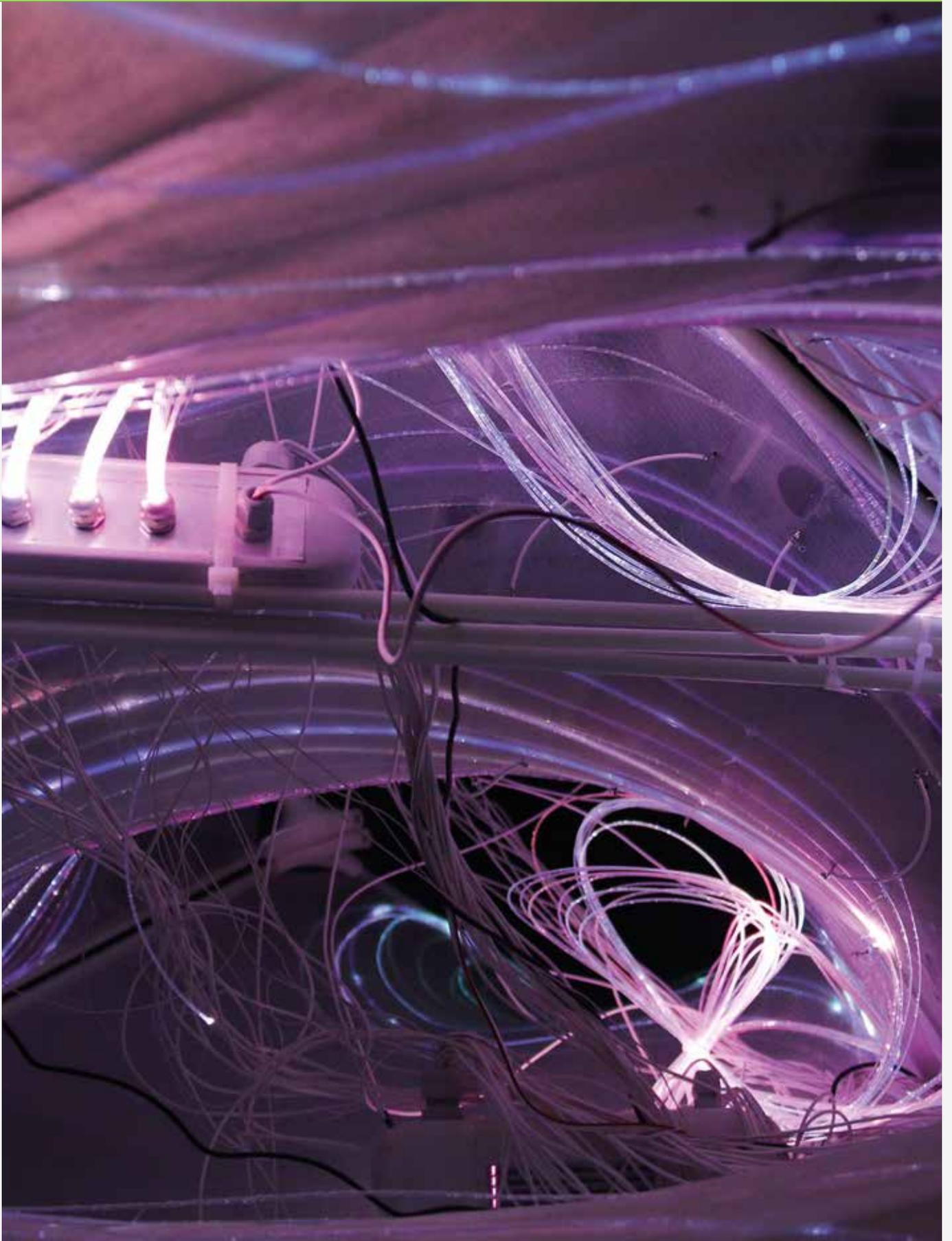
The association with the following organizations is already working:

- *European Academy of Wind Energy (EAWE)*
- *European Centre of Power Electronics (ECPE)*
- *European Power Electronic and Drives Association (EPE)*
- *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*
- *Verband Deutscher Ingenieure (VDI)*
- *Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) bzw. der Energietechnischen Gesellschaft (ETG)*
- *Conseil International des Grands Réseaux Électriques (International Council on Large Electric Systems, CIGRÉ)*
- *Congrès international des réseaux électriques de distribution (International Conference on Electricity Distribution, CIRED)*



Es bestehen umfangreiche Kooperationen mit verschiedenen nationalen Universitäten (unter anderem RWTH Aachen, TU Dortmund, TU Dresden, FAU Erlangen), Netzbetreibern (z.B. DREWAG, ENSO, Hansewerk, Mitnetz, Westnetz, Netze-BW, ENM, Städtische Werke Kassel, 50Hertz, Tennet, Amprion, TransnetBW) und Anlagenherstellern (z.B. SMA, Enercon).

There are extensive cooperations with various national universities (e.g. RWTH Aachen, TU Dortmund, TU Dresden, FAU Erlangen), network operators (e.g. DREWAG, ENSO, Hansewerk, Mitnetz, Westnetz, Netze-BW, ENM, Städtische Werke Kassel, 50Hertz, Tennet, Amprion, TransnetBW) and equipment manufacturers (e.g. SMA, Enercon).



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS), TIM STÖHR (UNI KASSEL)

Titel

**„FREE SKIN“ COLLABORATION IM RAHMEN
DES PROJEKTS „URBAN GLOW“**

title

**“FREE SKIN” COLLABORATION IN THE FRAME-
WORK OF THE PROJECT “URBAN GLOW”**

Fertig aufgebauter Prototyp mit
montierten PV-Zellen (links) und
beleuchtet (rechts).

*Finished prototype with mounted
photovoltaic cells (left) and
illuminated (right).*



Am 15.09.2015 wurde im Rahmen der Kassler Museumsnacht ein besonderer Aufbau im Rahmen des „Urban Glow“ Projekts präsentiert. Aufgebaut aus epoxidharzverstärktem Membranstoff und versehen mit organischen Solarzellen wurde ein Prototyp eines interaktiven Fassadensystems ausgestellt. Der Aufbau sollte die technischen Möglichkeiten von druckbeanspruchten membranbasierten Freiformstrukturen und hierbei die geometrischen und gestalterischen Potentiale aufzeigen. Eine entsprechende Fassade übernimmt dabei neben der Aufgabe als Sonnenschutz auch Aufgaben der Energieproduktion, sowie der Lenkung des Lichts und der Ein- und Ausblicke.

Der ausgestellte Prototyp ist in der Lage sich mittels integrierter Solarzellen über den Tag selbstständig aufzuladen, um die gespeicherte Energie in der Nacht durch Bewegung und Licht in eine Kommunikation mit seiner Umgebung zu transformieren. Durch den Einsatz von Sensoren, Programmierung und Beleuchtung sollten Passanten im Stadtraum aufmerksam gemacht werden, die wiederum aktiv durch eine Interaktion mit den Installationen die Atmosphäre ihrer Umgebung modulieren konnten.

Mit der Installation „Urban Glow“ wurden energetische und architektonische Forschungsfragen einer multifunktionalen Fassade untersucht. Das Projekt befand sich dabei an der Schnittstelle von Architektur und Kunst, was der interdisziplinäre Ansatz des Projektes widerspiegelte. Das Projekt entstand in Kooperation von Architekten, Künstlern und Elektrotechnikern des Fachgebiets Experimentelles Entwerfen und Konstruieren, dem EVS und der Kunsthochschule Kassel.

Betreuung:

Timo Carl, Frank Stepper, Vanja Juric, Olaf Val, Dr.-Ing. Mathias Käbisch

Studentisches Team:

Line Umbach, Tim Stöhr, Eric Wiederhold, Grischa Göbel, Lena Henriette Neuber, Anne Liebringshausen, Oliver Raderschall, Philipp Kern, Jonathan Schmidt, Christian Slama, Cagdas Alakus

On September 15, 2015, a special construction was presented as part of the “Urban Glow” project within the framework of the “Kassler Museumsnacht”. A prototype of an interactive front system was exhibited, made of epoxy membrane material and equipped with organic solar cells. The design should show the technical possibilities of special membrane-based free-form structures and the geometrical and design potentials. In addition to the task of sun protection, a corresponding front also performs the tasks of energy production, as well as the control of light and views.

The exhibited prototype is able to recharge itself autonomously by means of integrated solar cells over the day, in order to use the stored energy for interacting with the environment using light and movement during the night. Through the use of sensors, programming and lighting, visitors should be made aware of the urban environment, which in turn could modulate the atmosphere of their surroundings by interacting with the installations.

With the installation “Urban Glow” energetic and architectural research questions of a multifunctional front were examined. The project was at the interface between architecture and art, reflecting the interdisciplinary approach of the project. The project was developed in cooperation with architects, artists and electrical engineers from the Department of Experimental Design and Construction, the EVS and the Kunsthochschule Kassel.

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel

BESUCH EVA KÜHNE-HÖRMANN

title

**STATE MINISTER EVA KÜHNE-HÖRMANN
VISITING THE KDEE**

Im Juni 2009 wurde das KDEE durch die damalige Hessische Ministerin für Wissenschaft und Kunst (HMWK), Eva Kühne-Hörmann, eröffnet. Das HMWK übernahm die Grundfinanzierung für die ersten 5 Jahre. Am 12. April 2016 besuchte Frau Kühne-Hörmann (derzeit Staatsministerin der Justiz) das KDEE, um sich über die Entwicklung und den derzeitigen Stand des Instituts zu informieren. Die mittlerweile vier beteiligten Fachgebiete e²n (Prof. Martin Braun), AHT (Prof. Albert Claudi), INES (Prof. Clemens Hoffmann) und EVS (Prof. Peter Zacharias) demonstrierten bei diesem Treffen Teile ihrer Forschungs- und Projektarbeiten und gaben einen Einblick in die vielfältigen Tätigkeiten des KDEE.

In June 2009 the KDEE was inaugurated by state minister for Higher Education, Research and Arts (HMWK) Eva Kühne-Hörmann. The HMWK took over the basic funding for the first 5 years. On April 12th 2016 Mrs. Kühne-Hörmann (currently state minister of justice) visited the KDEE to obtain an overview of the work performed and the current situation of the institute. The four participating departments e²n (Prof. Martin Braun), AHT (Prof. Albert Claudi), INES (Prof. Clemens Hoffmann) and EVS (Prof. Peter Zacharias) demonstrated parts of their research and project work and gave an insight into the various activities of the KDEE.

Diskussion der Ziele der Fachgebiete
und des Kompetenzzentrums.
*Discussion on goals of the departments
and the competence centre.*



Vorstellung verschiedener Projekte der vier Fachgebiete am KDEE.
Presenting several projects of the four departments of the KDEE.

Ansprechpartner
 PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel
**PCIM YOUNG ENGINEER AWARD 2016 FÜR
 CHRISTIAN FELGEMACHER**

title
**PCIM YOUNG ENGINEER AWARD 2016 FOR
 CHRISTIAN FELGEMACHER**

Christian Felgemacher



Die Preisverleihung des Young-Engineer-Awards gehört zu den jährlichen Highlight-Events der Elektronik-Konferenz „Power Conversion and Intelligent Motion“ (PCIM) im Frühling in Nürnberg. Über 340 Einreichungen wurden von den PCIM Europe Konferenzdirektoren hinsichtlich Qualität, Neuigkeitsgehalt sowie Aktualität und Praxisbezug bewertet. Erstmals waren unter den insgesamt sechs Nominierten für den Best Paper Award auch vier Anwärtler für den Young Engineer Award. Der Young Engineer Award wird an herausragende Beiträge junger Ingenieure (bis 35 Jahre) vergeben.

Die Gewinner präsentierten ihren Vortrag erstmals auf der PCIM Europe 2016 Konferenz und sind im Tagungsband veröffentlicht. Die drei Young Engineer Award Gewinner erhalten ein Preisgeld, der Best Paper Award Gewinner ein Preisgeld und eine Einladung zur PCIM Asia 2017 Konferenz in Shanghai.

Zu den Gewinnern eines der drei PCIM Europe Young Engineer Awards in 2016 zählt nun auch unser Mitarbeiter Christian Felgemacher. Er konnte mit dem Thema „Benefits of Increased Cosmic Radiation Robustness of SiC Semiconductors in large Power-Converters“ die Jury überzeugen.

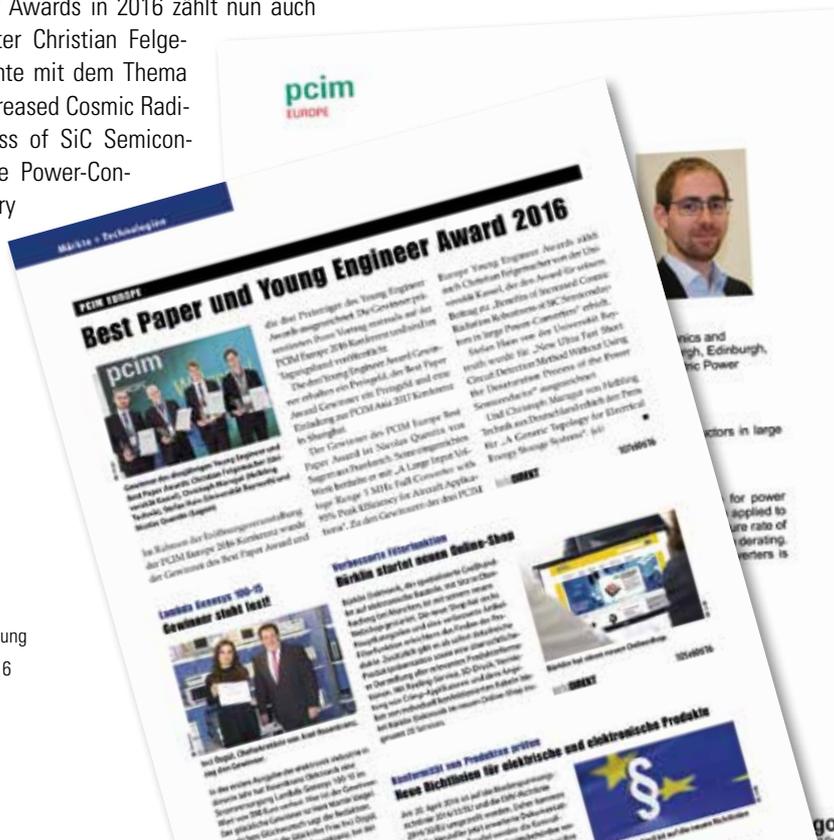


PCIM Europe 2016 Award Gewinner; von links: Christian Felgemacher, University of Kassel, Deutschland; Christoph Marxgut, Helbling Technik, Deutschland; Stefan Hain, University of Bayreuth, Deutschland; Nicolas Quentin, Sagem – Ampere Laboratory, Frankreich (Bild: Mesago).

The award ceremony for the Young-Engineer-Award belongs to the highlights of the annual electronics conference „Power Conversion and Intelligent Motion“ (PCIM) held in spring in Nuremberg. More than 340 submissions were judged by the PCIM Europe Conference Directorate regarding quality, new discoveries, timeliness and practical reference. For the first time, four of the six nominees for the Best Paper Award were also applying for the Young Engineer Award. The Young Engineer Award is granted for extraordinary contributions of young engineers (up to 35 years of age).

The winners presented their papers for the first time at the PCIM Europe 2016 Conference and are published in the conference transcript. The three winners of the Young Engineer Award receive prize money, the winner of the Best Paper Award is additionally invited to the PCIM Asia 2017 conference in Shanghai.

One of the winners of the PCIM Europe Young Engineer Award 2016 is our colleague Christian Felgemacher. He impressed the jury with his submission on „Benefits of Increased Cosmic Radiation Robustness of SiC Semiconductors in large Power-Converters“.



Quelle: Pressemitteilung der PCIM Europe 2016

Ansprechpartner

DIPL.-PHYS. ELISABETH DRAYER, M.SC. FRIEDERIKE MEIER, M.SC. FLORIAN SCHÄFER (e²n)

Titel

**EHRENAMTLICHES ENGAGEMENT IM
FACHGEBIET e²n**

title

**VOLUNTEER WORK AT THE
DEPARTMENT e²n**

Im Fachgebiet e²n wird ehrenamtliches Engagement großgeschrieben. Gleich drei wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind regional und überregional in verschiedenen Positionen im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) aktiv. Als die in Deutschland führende neutrale E + I-Technik-Plattform vernetzt der VDE Wissenschaft, Wirtschaft/Unternehmen und Politik, um zukunftsweisende Technologien und deren innovative Nutzung interdisziplinär zu fördern.

Elisabeth Drayer ist von 2015 bis 2017 im Vorstand des VDE-Bezirksvereins Kassel. In dieser Funktion ist sie insbesondere für die Organisation der monatlich stattfindenden Vortragsabende des VDEs in Kassel zuständig. Durch ihr Engagement konnte sie in den letzten Jahren über 20 Experten aus Wissenschaft und Industrie gewinnen, um über aktuelle Themen aus den verschiedensten Bereichen der Elektrotechnik zu referieren.

Diese Aufgabe wird von 2017 an von Friederike Meier übernommen. Frau Meier war während ihres Studiums bereits seit den ersten Semestern Mitglied des VDE.

Florian Schäfer ist einer von zwei YoungProfessionals-Sprechern, welche deutschlandweit die Belange der Berufseinsteiger auf der VDE-Delegiertenversammlung sowie in der Öffentlichkeit vertreten. Neben diesen repräsentativen Tätigkeiten ist er Teil des Planungsteams für das Junge Forum auf dem ETG-Kongress 2017 und organisiert die halbjährlichen Treffen des YoungProfessionals-Forum. Zudem plant und koordiniert er verschiedene Projekte zur aktiven Förderung von Berufseinsteigern im VDE.

Weitere Informationen unter: www.vde-kassel.de und www.vde.com/de/vde-youngnet/ueberuns/youngprofessional-forum



Das VDE-Team des Fachgebietes e²n.
VDE-team of the department e²n.

At the department e²n volunteering has a big priority. Three research assistants are active in various, regional and nationwide, positions within the Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE). As the leading Electrical + Information technology platform in Germany, the VDE connects science, business and politics to promote interdisciplinary technologies and their innovative use.

Elisabeth Drayer is on the board of the VDE district association Kassel from 2015 to 2017. In this function, she is responsible in particular for the organization of the monthly lectures held by the VDE in Kassel. Through her commitment, she has won more than 20 experts from science and industry in recent years to talk about current topics from various areas of electrical engineering.

This task will be assumed by Friederike Meier from 2017 onwards. Ms Meier had been a member of the VDE since her early semesters at the University of Kassel.

Florian Schäfer is one of two YoungProfessionals speakers, who represent the interests of the young professionals at the VDE assembly of delegates in Germany as well as in the public. In addition to these representative activities, he is part of the planning committee for the Young Panel at the ETG Congress 2017 and organizes the six-monthly meetings of the YoungProfessional-Forum. In addition, he plans and coordinates various projects for the active promotion of young professionals to VDE.

Ansprechpartner
 PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN (e²n)

Titel
**IHK WISSENSCHAFTSPREIS VON
 HERRN DR.-ING. THOMAS STETZ (e²n)**

title
**IHK SCIENCE PRIZE OF
 DR.-ING. THOMAS STETZ (e²n)**



(v.l.n.r.) Dr. Walter Lohmeier (ehem. Hauptgeschäftsführer der IHK Kassel-Marburg), Sybille von Oberritz (Hauptgeschäftsführerin der IHK Kassel-Marburg), Prof. Dr. Thomas Stetz (Preisträger Wissenschaftspreis), Thomas Winkler (Preisträger Förderpreis), Prof. Dr. Martin Viessmann (ehemaliger Präsident der IHK Kassel-Marburg), Prof. Dr. Reiner Finkeldey (Präsident der Uni Kassel), Prof. Dr. Martin Braun (Leiter des Fachgebiets e²n)

Die Industrie- und Handelskammer Kassel verleiht alle zwei Jahre an wissenschaftliche Mitglieder der Universität Kassel einen Geldpreis für herausragende wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Wirtschaftswissenschaften, Rechtswissenschaften, Technikwissenschaften oder Naturwissenschaften. Die Arbeiten müssen dabei herausragende wissenschaftliche Leistungen darstellen, mit denen eigenständige und innovative theoretische Erkenntnisse verbunden sind und/oder ein besonderer Umsetzungsbezug für wirtschaftliche Anwendungen gegeben ist. Der Wissenschaftspreis der Industrie- und Handelskammer Kassel würdigt insbesondere herausragende Dissertationen und Habilitationsschriften, aber auch sonstige Forschungsarbeiten von überragender wissenschaftlicher Bedeutung.

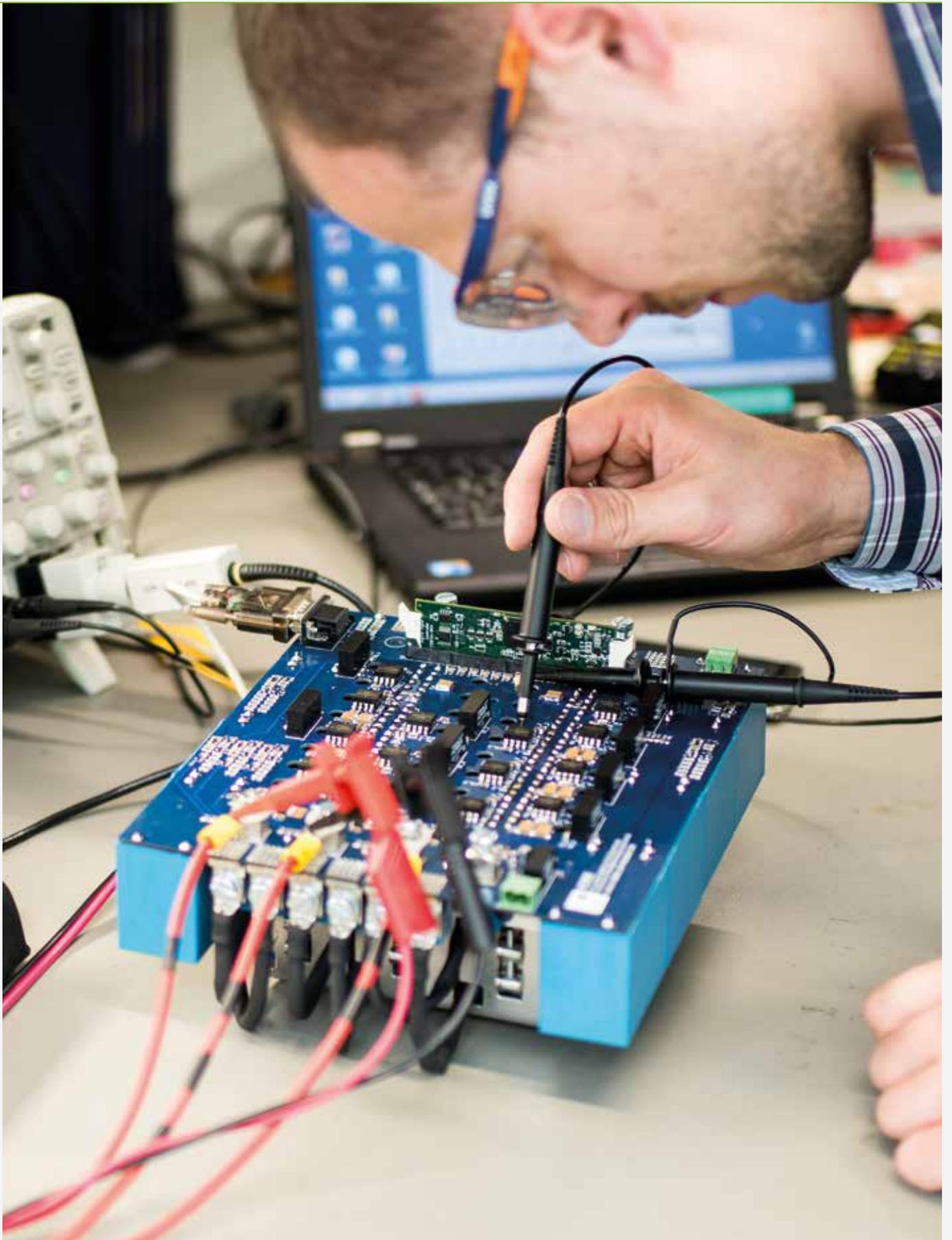
In seiner Dissertation zum Dr.-Ing. hat sich Dr. Thomas Stetz mit der Entwicklung und Bewertung von Technologien beschäftigt, die helfen, Photovoltaikanlagen (PV) besser in das Verteilnetz zu integrieren. Der in der Vergangenheit stark gestiegene PV-Zubau und die in sonnenreichen Stunden rapide zunehmende Einspeisung stellen das bestehende Verteilnetz vor große Herausforderungen: Es gilt, lokale Überspannungen und Stromengpässe zu meistern. Stetz hat es geschafft, technisch effektive und wirtschaftlich effiziente Regelungsverfahren zu identifizieren, die dazu beitragen, die Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsnetzen zu erhöhen – ohne dass dafür zusätzliche Informations- und Kommunikationstechnik genutzt werden muss. Die Forschungsergebnisse haben dazu geführt, dass mit diesem Wissen sowohl namhafte Wechselrichterhersteller ihre Produkte technisch weiterentwickelt als auch die Betreiber elektrischer Verteilnetze die Netzanschlussrichtlinien angepasst haben.

Der gebürtige Gelnhäuser Dr. Thomas Stetz lebt derzeit in Gießen. Dort hat er seit Oktober 2015 eine Professur für Smart Grids und Energiespeicher am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) inne. Zuvor hat er als Leiter der Forschungsgruppe „Betrieb und Planung/Hybridnetze“ am Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Kassel gearbeitet. Er bringt sein auf Basis der Promotion an der Universität Kassel erarbeitetes Fachwissen unter anderem als nationaler Experte in ein internationales Gremium zum Thema Netzintegration von Photovoltaik bei der Internationalen Energie Agentur ein. Stetz kann über 30 fachspezifische Veröffentlichungen im Bereich Smart Grids und Speicherung vorweisen.

Every two years the Kassel Chamber of Commerce and Industry awards a prize to scientific members of the University of Kassel for outstanding scientific work in the fields of economics, law, engineering, and natural sciences. The work must contain outstanding scientific achievements, which involve independent and innovative theoretical knowledge and/or a special implementation reference for economic applications. The scientific award of the Kassel Chamber of Industry and Commerce honors in particular outstanding dissertations and habilitation theses, as well as other research projects of outstanding scientific importance.

In his PhD-thesis Dr.-Ing. Dr. Thomas Stetz has dealt with the development and evaluation of technologies that help to integrate photovoltaic (PV) systems into the distribution network. The steep rise in PV and the rapid increase in feed-in hours during the sunny hours present great challenges for the existing distribution network. Local overvoltages and current bottlenecks have to be mastered. Stetz has succeeded in identifying technically effective and economically efficient control methods that help to increase the absorption capacity of low-voltage networks without the need for additional information and communication technology. The results of the research have led to the fact that well-known inverter manufacturers have developed their products technically and the operators of electrical distribution networks have adapted the grid connection guidelines.

Dr. Thomas Stetz, who was born in Gelnhausen, currently lives in Giessen. Since October 2015, he holds a professorship for Smart Grids and Energy Storage at the Department of Electrical Engineering and Information Technology at the Technical University of Applied Sciences (THM). He previously worked as head of the Research Group "Operation and Planning / Hybrid Networks" at the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy Systems Engineering (IWES) in Kassel. He brings his expertise, developed on the basis of the doctorate at the University of Kassel, as a national expert to an international body on the topic of grid integration of photovoltaics at the International Energy Agency. Stetz has over 30 specific publications in the field of smart grids and storage.



F&E PROJEKTE KDEE

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

**Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Zacharias (EVS)**



**Prof. Dr.-Ing.
Martin Braun (e²n)**



**Prof. Dr.-Ing.
Albert Claudi (AHT)**



**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann (INES)**



VORWORT FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

Die Entwicklung in der Energietechnik ist gekennzeichnet durch eine stetig zunehmende Vernetzung. Das heißt, Systemkomponenten unterschiedlichster Zweckbestimmung und Leistungsgröße werden zusammengeführt und erweitern die Basis zur Nutzung erschließbarer Energieressourcen. Diese haben jedoch unterschiedliche Eigenschaften von der Verteilung in der Fläche bis zur jahreszeitlichen Verfügbarkeit und kurzfristigen Volatilität. Die Weiterentwicklung von Standards für die Wechselwirkungen der Systemkomponenten, die Integration von Informations- und Kommunikationstechniken sowie von energietechnischen Komponenten zur Steuerung der Energieflüsse und Netzstabilisierung gehören zurzeit zu den wichtigsten Aufgabenstellungen in diesem Bereich.

Neben der Photovoltaik und der Nutzung von Biomasse hat die Windenergie im Bereich der erneuerbaren Energien für die Elektrizitätsversorgung die größte Bedeutung erlangt. Die zu erwartende große Steigerung des regenerativen Energieanteils in den nächsten Jahrzehnten, der überwiegend über Umrichter in das Netz eingespeist wird, bringt neue Herausforderungen an das Netz und die Versorger mit sich.

Energiebereitstellung über leistungselektronische Konverter hat sich in den letzten 20 Jahren von einer Anwender- zu einer Leittechnologie entwickelt. Schlüssel-Technologien sind insbesondere die Generator- und Umrichtertechnik sowie die netzverträgliche Gestaltung der Komponenten und Gesamtsysteme.

FOREWORD RESEARCH ACTIVITIES

The development in electrical engineering is characterised by an ever increasing interconnectedness. This means that system components of different purpose and performance are combined and extend the base for the use of accessible energy resources. However, these have different characteristics ranging from the distribution across space to the availability over the year and the short-term volatility. The further development of standards for the interactions of the system components, the integration of information and communication technologies as well as of energy-technical components for the control of the energy flows and network stabilization are currently one of the most important tasks in this area.

In addition to photovoltaics and the use of biomass, wind energy is currently amongst the most important tasks in this area. The expected large increase in the regenerative energy share over the coming decades, which is mainly fed into the grid via converters, brings new challenges to the grid and the suppliers.

Power supply over power electronics converters has evolved over the last 20 years from a user technology to a control technology. Key technologies are, in particular, the generators and inverters as well as the network-compatible design of the components and overall systems.

Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Beispiel zur

- hocheffizienten Bereitstellung von Wirk- und Blindleistung für das Netz,
- Dezentralen Spannungsregelung und Power Quality Management,
- Hocheffizienten Energiewandler für elektrische Maschinen und andere Anwendungen,
- Veränderung der Kurzschlussleistung und Beeinflussung der Netzstabilität,
- Bereitstellung geregelter Kurzschlussleistung durch doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren,
- Entwicklung eines magnetisch gelagerten Ringgenerators für 10 MW-Windkraftanlagen,
- Offshore-Netzintegration,
- Entwicklung neuer robuster Stellglieder für den Leistungsfluss in elektrischen Netzen

werden durch Dissertationen, Diplom-, Master- und Bachelor-Arbeiten zukunftsweisende Methoden erarbeitet, um dem Wandel in der elektrischen Energieversorgung gerecht zu werden.

Leistungselektronische Einrichtungen sind die flexibelsten und die schnellsten Stellglieder für das Energiemanagement in derzeitigen und zukünftigen elektrischen Energienetzen. Ihre Konstruktion und Regelung erfordert spezielles Know-how, das am KDEE langfristig konzentriert und weiter entwickelt wird. Die Entwicklungsimpulse kommen sowohl aus der effizienten Nutzung der traditionellen Energieträger als auch aus den besonderen Anforderungen der neuen regenerativen Energieträger. Neue Energiewandlungskonzepte gestatten, diese auch allgemein zu nutzen. Die bereitgestellte „Rohenergie“ der Wandler genügt in der Regel nicht den standardisierten Nutzungsbedingungen in der Versorgung in stationären und mobilen Anwendungen. Leistungselektronische Wandler gestatten eine Aufbereitung dieser Rohenergie für den Endverbraucher mit höchsten Umwandlungsgraden. Sie ermöglicht die Integration verschiedenster Energiequellen und Speicher in ein Gesamtsystem.

Within the framework of research and development projects,

- *Highly efficient provision of active and reactive power for the grid,*
- *Decentralized voltage regulation and power quality management,*
- *Highly efficient energy converters for electrical machines and other applications,*
- *Change of short-circuit power and influence of grid stability,*
- *Provision of controlled short-circuit power by double-fed asynchronous generators,*
- *Development of a magnetically stored ring generator for 10 MW wind power plants,*
- *Offshore network integration,*
- *new robust actuators for the power flow in electrical networks*

will be developed in the frame of PhDs and student research projects to meet the changing requirements of electrical energy supply.

Power electronics devices are the most flexible and the fastest actuators for energy management in current and future electrical power grids. Their design and control requires special know-how, which is concentrated and developed at the KDEE in the long term. The development impulses come from the efficient use of the traditional energy carriers as well as from the special requirements of the renewable energy sources. New energy conversion concepts also allow them to be used in general. The "raw energy" provided by converters generally does not meet the standardized conditions of use in stationary and mobile applications. Power electronics converters allow a processing of this raw energy for the end user with highest efficiency. It enables the integration of a wide range of energy sources and storages within an overall system.



EVS Elektrische
EnergieVersorgungsSysteme

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**DAS FACHGEBIET ELEKTRISCHE ENERGIE-
VERSORGUNGSSYSTEME (EVS)**

title

**DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SUPPLY
SYSTEMS (EVS)**

EVS Elektrische Energieversorgungssysteme

Lehre und Forschung im Fachgebiet sind ausgerichtet auf Anlagen und Systeme zur elektrischen Energieversorgung sowie auf die Entwicklung leistungselektronischer Bauelemente und Baugruppen für solche Systeme. Sie umfassen dabei die Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (z. B. Sonne, Kleinwasserkraft, Biogas und Wind) sowie leistungselektronische Wandler in mobilen Anwendungsbereichen.

Prof. Zacharias ist verantwortlicher Leiter des Fachgebiets EVS. Dr.-Ing. Thiemo Kleeb hat seit Oktober 2016 eine Habilitationsstelle im Fachgebiet inne, die durch die Kleinkauf-Stiftung für 5 Jahre finanziert wird. Neben der Lehre forscht er dabei im Bereich der neuen magnetischen Bauelemente und begleitet den wissenschaftlichen Gerätebau. Seit November 2016 obliegen Dr.-Ing. Christian Nöding als akademischem Rat des Fachgebiets EVS und Nachfolger von Dr.-Ing. Mathias Käbisch die Grundlagen- und auf Brennstoffzellen- und Windkrafttechnik bezogenen Vorlesungen. Er koordiniert zudem im operativen Geschäft organisatorisch und inhaltlich die Forschungsaufträge des Fachgebiets.

Seit vielen Jahren sind zudem die beiden externen Wissenschaftler Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, Leiter des Competence Centers Energiepolitik und Energiesysteme beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhardt, Leiter des Wissensmanagements der SMA Solar Technology AG eine wertvolle Ergänzung in der Lehre.

Teaching and research activities in the department are focused on subsystems and systems for the electrical power supply as well as on the development of electronic components and subsystems for such systems. These include the development of techniques for the use of renewable energy sources (e.g. sun, small water, biogas and wind) as well as power electronic converters in mobile application areas.

Prof. Zacharias is responsible for the department of EVS. Since October 2016 Dr.-Ing. Thiemo Kleeb holds a postdoctoral position in the department, which is financed by the Kleinkauf Foundation for 5 years. In addition to teaching he is also researching in the field of new magnetic components and is supporting the construction of scientific equipment. Since November 2016 Dr.-Ing. Christian Nöding is responsible for fundamental lectures and lectures regarding fuel cell and wind turbine technologies as an lecturer of the department and successor of Dr.-Ing. Mathias Käbisch. In addition he coordinates the research assignments with regards to organization and content.

Since a number of years, two external scientists are a valuable addition to our teaching team: Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, head of the Competence Center Energy-policy and Energy-systems at the Fraunhofer Institute for System and Innovation research (ISI), and Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhardt, head of Enterprise knowledge Management at SMA Solar Technology AG.

Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Zacharias



Dr.-Ing.
Christian Nöding



Dr.-Ing.
Thiemo Kleeb



Prof. Dr.-Ing.
Harald Bradke



Prof. Dr.-Ing.
Mike Meinhardt



Das Fachgebiet bietet folgende Lehrveranstaltungen an:
The following courses are offered by the department:

▪ Leistungselektronik für regenerative und dezentrale Energiesysteme	Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhardt, SMA Solar Technology AG
▪ Simulation regenerativer Energieversorgungssysteme	Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhardt, SMA Solar Technology AG
▪ Energiewirtschaftliche Aspekte der Energietechnik I & II	Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, FhG-ISI Karlsruhe
▪ Elektrische Systeme in der Formalar Student	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias
▪ Leistungselektronik	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias
▪ Praktikum Leistungselektronik / Energietechnisches Praktikum	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias
▪ Grundlagen der Energietechnik	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias
▪ Magnetische Bauelemente	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias
▪ Brennstoffzellentechnik in der Energieversorgung	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Speicher in der Energieversorgung – Batterietechnik	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Seminar Elektrische Energieversorgungssysteme / Windkrafttechnik	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Regelung und Netzintegration von Windkraftanlagen	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Seminar Netzintegration dezentraler Einspeisesysteme	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Nutzung der Windenergie	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Regelung und Netzintegration von Windkraftanlagen	Dr.-Ing. Christian Nöding
▪ Grundlagen der Elektro- und Messtechnik	Dr.-Ing. Christian Nöding

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING, CHRISTIAN FELGEMACHER, M.ENG. (EVS)

Titel

**ENERGIEEFFIZIENTE STROMRICHTER DURCH
NUTZUNG VON GAN-BAUELEMENTEN
(E²COGaN)**

title

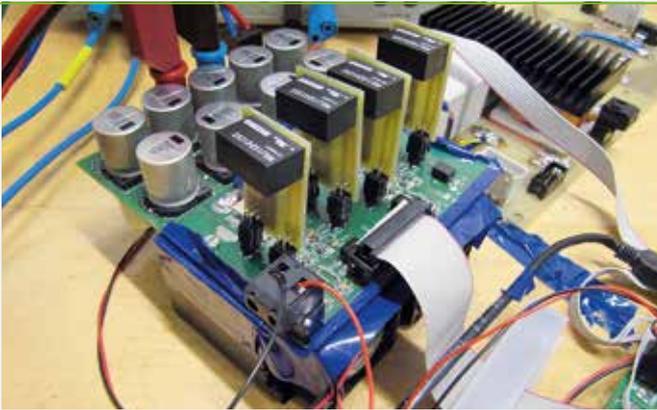
**ENERGY EFFICIENT CONVERTERS USING GAN
POWER DEVICES (E²COGaN)**

Bis Ende 2016 beteiligte sich das KDEE an einem in 2013 gestarteten EU-weiten Forschungsprojekt zur Untersuchung von Gallium-Nitrid-(GaN)-Halbleitern für den Einsatz in Stromrichtersystemen. Das vom Fachgebiet EVS bearbeitete Teilvorhaben mit dem Titel „Demonstratoren von photovoltaischen Wechselrichtern mit GaN-Halbleitertechnologie“ umfasste dabei die Auswahl und das Design von passiven Filterelementen für den Betrieb bei hohen Schaltfrequenzen (bis zu 500kHz) und Spannungsflanken über 50kV/μs. Neben Kühlungsstrategien und der grundsätzlichen Aufbau- und Verbindungstechnik neuartiger GaN-Halbleiterbauelemente beschäftigte sich das EVS hierbei vor allem mit neuen Techniken für das Auslegen der Leistungs- und Signalplatinen, die einen Betrieb bei steilen Schaltflanken mit geringen elektromagnetischen Störungen ermöglichen sollte.



Laborprototyp mit GaN-Prototyp-Halbleitern.

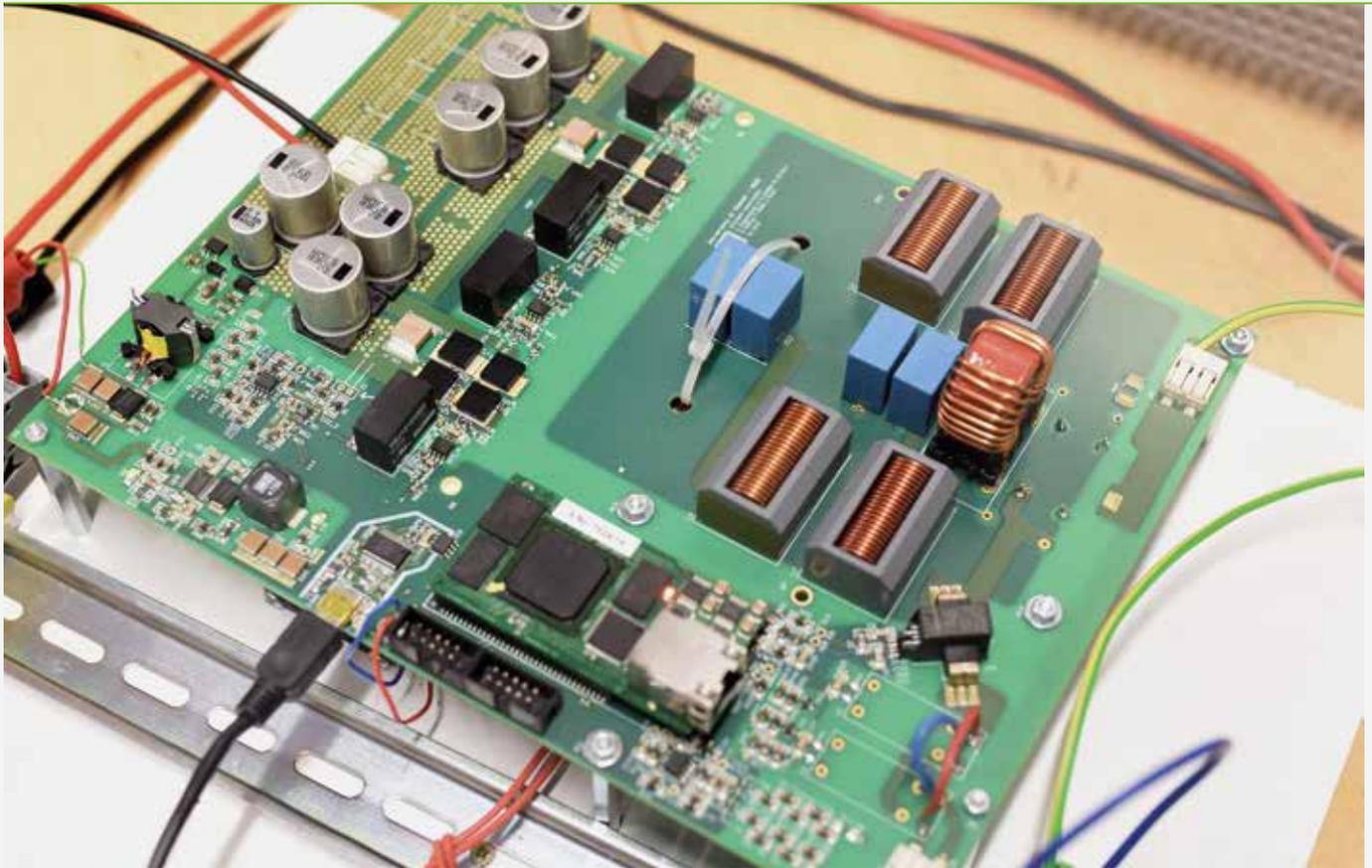
Laboratory prototype with GaN semiconductors.



Am Fachgebiet wurden zahlreiche Platinen für verschiedene GaN-Halbleiterschalter (Prototypen als auch marktverfügbare Halbleiter) aufgebaut und als 1-phasige Wechselrichterschaltung in Betrieb genommen und hinsichtlich der Verlustleistungen und der thermischen Anbindung untersucht. Eine vorhergehende Untersuchung der Halbleiterschalter innerhalb der Kommutierungszelle gab Aufschluss über das technische Potential der verwendeten Halbleiter und der jeweiligen Bauformen der Gehäuse. Für die Laborprototypen und späteren Demonstratoren wurde ein eigenes Betriebsprogramm innerhalb eines FPGAs entwickelt, um selbst bei höheren Schaltfrequenzen den Strom pulsgenau regeln und auf schnelle Signaländerungen sofort reagieren zu können. Die Einspeisung eines AC-Stroms in das öffentliche Versorgungsnetz im Netzparallelbetrieb belegte schließlich die Funktionsweise.

Until the end of 2016, the KDEE participated in a 2013-started EU-wide research project on the analysis of Gallium-Nitride-(GaN)-Semiconductors for the application in power converter systems. The department EVS worked on the subproject “demonstrators of photovoltaic inverters with GaN-semiconductor technology”, which encompassed the selection and the design of passive filter elements at high switching frequencies (up to 500 kHz) and steep voltage flanks larger than 50 kV/μs. Besides the cooling strategies and the basic construction and connection techniques of new GaN-semiconductor devices, the EVS largely focused on new design principles of the power and signal circuit boards, making their operation with steep voltage flanks and low electromagnetic interferences possible.

Several circuit boards for different GaN semiconductors – prototypes and purchasable devices alike – were built and operated as single phase inverters, investigating their efficiencies and thermal connections. An initial investigation inside the Commutation Cell revealed the technological potential of the respective semiconductors and packages. For the laboratory prototypes and the later developed demonstrator setups, a custom control system was developed and implemented onto an FPGA in order to precisely control the current even at high switching frequencies and to quickly react on fast changing signals. The operation was conclusively demonstrated by feeding AC current into the power grid in parallel mode.



Endgültiger Demonstrator für 2,3 kW.

Final demonstrator for 2.3 kW.

Ein weiteres Arbeitspaket des Projekts stellte die Entwicklung und Untersuchung eines passenden EMV-Filters dar. Hier galt es die geltenden Normen hinsichtlich der Störaussendung bei gleichzeitiger Volumenreduktion einzuhalten. Neuartige Filterkonzepte und ein spezielles Platinendesign wurden hierzu entwickelt und am fachgebietseigenen EMV-Prüfplatz in Bezug auf die Störaussendung vermessen.

Insgesamt schlossen sich mehr als 20 europäischen Partnern zu dem Projekt zusammen, zu denen Universitäten, Kompetenzzentren und Firmen gehören. Weitere Informationen über das Projekt finden Sie auf der offiziellen Website www.e2cogan.eu.

Another topic of this project was the development of a suitable EMI filter. The main task consisted of the downsizing of the necessary components while still fulfilling the norms regarding disturbance dissipation. For this task, new filter concepts and a special circuit board design were developed and investigated on the department-owned specialised EMI test area.

All in all, more than 20 European Universities, Competence Centres and Companies collaborated for this project. More information regarding this project is available on the official project website www.e2cogan.eu



Gefördert durch: ENIAC Joint Undertaking und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16ES0022 und das ENIAC Programm

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ansprechpartner
DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel
HHK: HOCHFREQUENZ-HOCHSTROM-KOMPONENTEN FÜR DEN EINSATZ IN DER MEDIZINTECHNIK UND PHOTOVOLTAIK-WECHSELRICHTERN DER MW-KLASSE

title
HHK: HIGH-CURRENT-COMPONENTS FOR THE APPLICATION IN MEDICAL TECHNOLOGY AND PHOTOVOLTAIC-INVERTERS OF MW-CLASS



Versetzt taktender Hochsetzsteller für 130kW Leistung und 870V Ausgangsspannung.
Interleaved boost-converter for an output-power of 130kW and an output-voltage of 870V.

Halbleiteruntersuchung an SiC-MOSFET-Modulen

Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts HHK ist die Vorteile von schnell-schaltenden Halbleiterbauelementen zu erschließen. In Zusammenarbeit mit Industriepartnern sollten die Eigenschaften von modernen Silizium-Karbid-(SiC)-Halbleitern in Form von hochstromfähigen Modulen untersucht und ihre Einsatzfähigkeit in mehreren Demonstratoraufbauten belegt werden. Während die Firma Siemens-Healthcare AG einen resonanten und hochfrequent arbeitenden Wechselrichter unter Betrachtung der Peak-Leistungsfähigkeit der neuartigen Module betrachtet, untersucht die Firma SMA Solar Technology AG den Einsatz von Hochstrom-SiC-Modulen in PV-Wechselrichtern.

Das KDEE übernahm im Rahmen dieses öffentlich geförderten Projekts zwischen 01.11.2013 und dem 31.01.2017 die detaillierte Halbleiteruntersuchung in Form von messtechnischer Untersuchung der Halbleitermodule hinsichtlich ihrer statischen und dynamischen Eigenschaften. Zusätzlich wurde ein interleaved arbeitender Hochsetzsteller mit insgesamt 130kW Leistung aufgebaut, getestet und vermessen. Hierfür wurden auch magnetische Bauelemente aufgebaut, die sowohl für die hohen Ströme als auch Schaltfrequenzen geeignet sind.

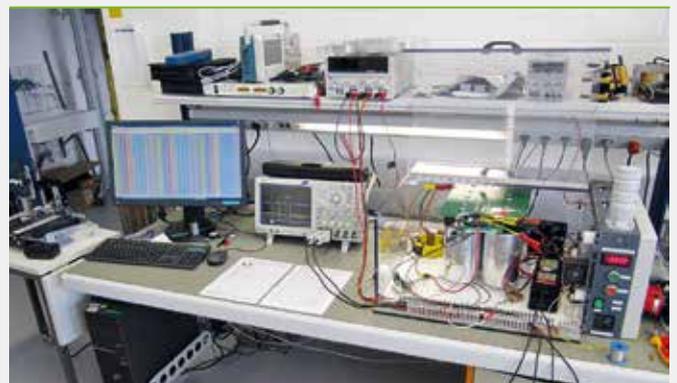
Begleitend zu den Laboraufbauten am Standort Kassel wurde eine Messkampagne zur Untersuchung der Höhenstrahlungsfestigkeit von verschiedenen Halbleiterbauelementen am The Svedberg Laboratory in Uppsala/Schweden durchgeführt.

Investigations on SiC-MOSFET-modules

The objective of the research project HHK, funded by the federal ministry for education and research (BMBF), is to unlock the advantages of fast switching semiconductor devices. In cooperation with industry partners the properties of modern silicon-carbide (SiC) semiconductors in high-current modules had to be investigated and their usability was to be proven in several demonstrator setups. While the company Siemens-Healthcare AG is examining a resonant inverter operating at high frequency with consideration of the peak power capability of the novel modules the company SMA Solar Technology AG is investigating the application of high current SiC modules in PV-inverters.

Within the publicly funded project the KDEE assumed the task of performing a detailed semiconductor investigation through measurements of static and dynamic properties of the semiconductor modules in the period between 01.11.2013 and 31.01.2017. In addition a boost converter operating in interleaved mode with a total power of 130kW was built up, tested and measured. For this purpose magnetic components were built up that are suitable for the high currents as wells as the high switching frequencies.

In addition to the laboratory setups in Kassel a measurement campaign to investigate the robustness against cosmic radiation of several semiconductor devices was carried out that the "The Svedberg Laboratory" in Uppsala/Sweden.



Messplatz der Kommutierungszelle zur Charakterisierung der 450A SiC-MOSFET-Module.

Test site for characterization of 450A SiC-MOSFET-modules.

Ansprechpartner

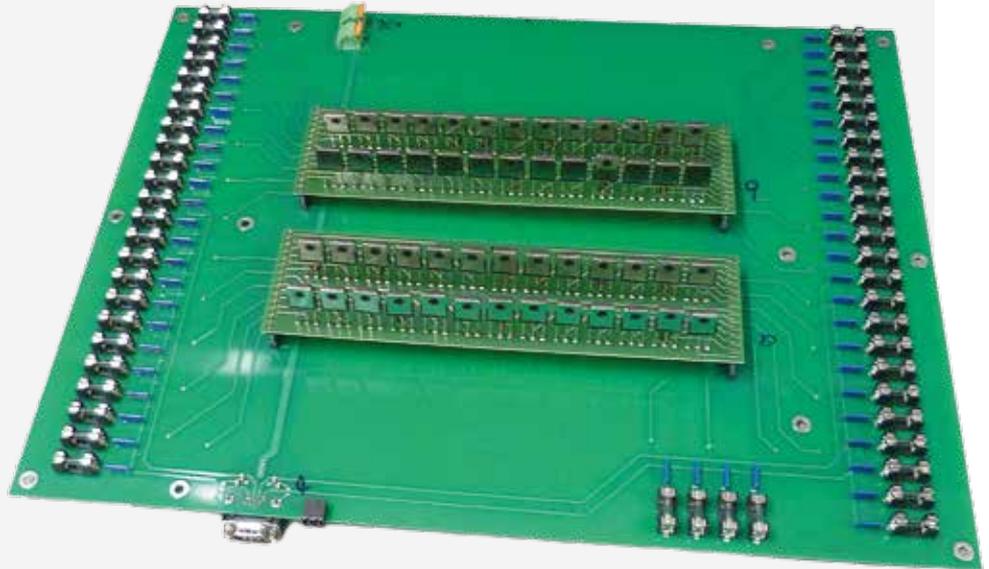
CHRISTIAN FELGEMACHER, M.ENG (EVS)

Zuverlässigkeitsuntersuchung

In der Fachwelt ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt, dass terrestrische kosmische Strahlung, auch Höhenstrahlung genannt, durch sogenannte „Single-Event-Burnouts“ leistungselektronische Bauteile unvermittelt im Betrieb zerstören kann. Um eine möglichst hohe Ausfallsicherheit gegenüber solcher Strahlung erreichen zu können wird in einer leistungselektronischen Schaltung die zu sperrende Betriebsspannung stets deutlich unter der theoretisch möglichen Sperrspannung eines Bauteils gehalten.

Für das Projekt „HHK“ wurde die Widerstandskraft moderner SiC-Halbleiter gegenüber der Höhenstrahlung untersucht und hierfür eine Versuchsreihe in den Laboren der ANITA Neutronenstrahl-Einrichtung am The Svedberg Labor in Uppsala, Schweden, durchgeführt. Mit der Studie sollte die Ausfallrate von PV-Zentralwechselrichtern bei Einsatz unterschiedlicher Halbleiter ermittelt werden und zudem mögliche Vorteile bei Einsatz von SiC-Halbleiterschaltern untersucht werden.

Die Messungen ergaben unter anderem, dass sich die spannungsabhängige Ausfallrate von den hier untersuchten SiC-Halbleitern von denen der Si-Halbleiter unterscheiden. So können die im Rahmen des Projekts untersuchten Schalter auf SiC-Basis deutlich näher an ihrer spezifizierten Nennspannung betrieben werden ohne dass die Ausfallrate inakzeptable Werte erreicht. Neben der reinen Bauteiluntersuchung konnten zudem Aussagen hinsichtlich des Einsatzes von Si- und SiC-Bauteilen bei 1.000V und 1.500V PV-Systemspannung getroffen werden.



Trägerplatine mit zu prüfenden Bauteilen.

Circuit board containing devices under test.

Reliability investigation

Among experts it is known for multiple decades that cosmic radiation can lead to catastrophic failures of power semiconductor devices during operation without any prior warning by so called „Single-Event-Burnout“. To achieve a high robustness against cosmic radiation the applied voltage to a blocking semiconductor in a power electronic circuit is always kept much below the theoretical maximum blocking voltage of the device.

For the project „HHK“ the robustness of modern SiC power semiconductors against cosmic radiation was investigated. For that purpose a set of experiments was conducted at the ANITA neutron beam facility at the „The Svedberg Laboratory“ in Uppsala, Sweden. With this study the failure rate of PV central inverters using different semiconductors was to be determined and possible advantages of using SiC semiconductor switches were to be investigated.

The measurements showed, amongst other things, that the voltage dependent failure rate of the investigated SiC semiconductors differs from that of Si semiconductors. As a results the tested semiconductor switches made off SiC can be operated closer to the nominal voltage without obtaining failure rates that are not tolerable. In addition to the investigation of the components statements about the utilisation of Si and SiC devices for 1.000V and 1.500V photovoltaic system voltages were made.

GEFÖRDERT VOM



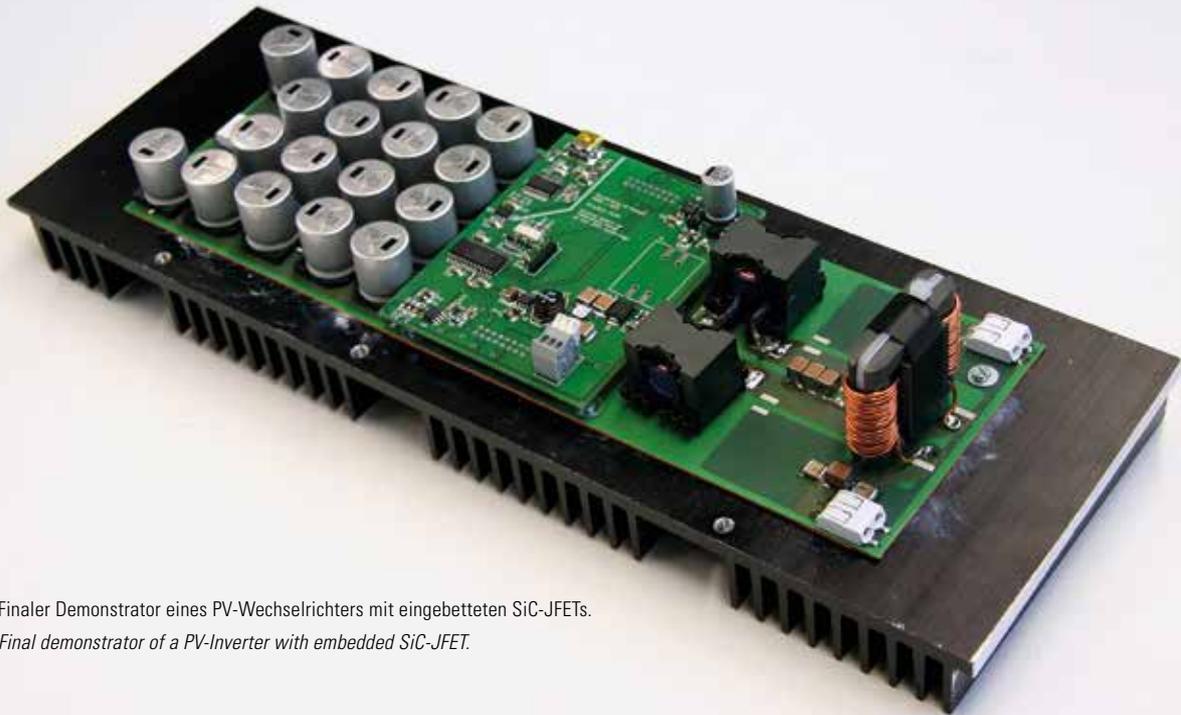
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung
unter dem Förderkennzeichen 16ES0096**

Ansprechpartner
JULIANE HINZE, M.SC. (EVS)

Titel
**FLIP: GRÖSSENOPTIMIERTE AUFBAU- UND VER-
BINDUNGSTECHNIK FÜR PHOTOVOLTAIK-WECH-
SELRICHTER IN DER UNTEREN KW-KLASSE**

title
**FLIP: SIZE OPTIMIZED PHOTOVOLTAIC
INVERTERS IN THE LOWER KW-CLASS**



Finaler Demonstrator eines PV-Wechselrichters mit eingebetteten SiC-JFETs.
Final demonstrator of a PV-Inverter with embedded SiC-JFET.

Halbleiter und AVT

Halbleiter für leistungselektronische Schaltungen sind üblicherweise entweder in Form von diskreten TO-Gehäusen für eine Durchsteckmontage (THT), in einem Gehäuse für die Oberflächenmontage (SMT) oder in Modulform mit Feder- oder Schraubkontakten im Handel erhältlich. Zusammen mit den für die Stromführung und Bauteilmontage notwendigen Platinen (PCBs) und den Einzelkomponenten entstehen die fertigen Schaltungen.

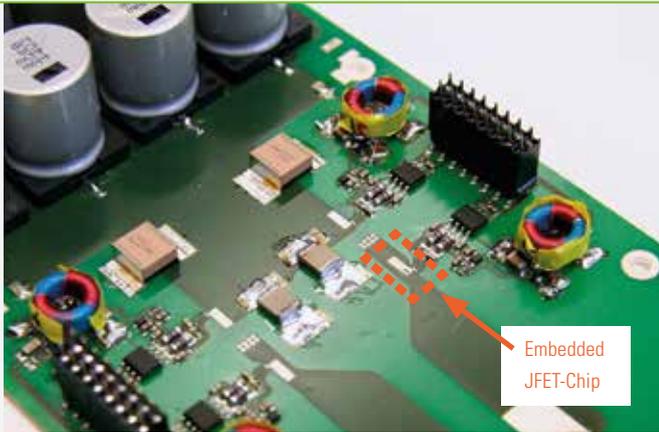
Trotz der kleinen Halbleitergrößen entstehen aufgrund der physikalischen Abmessungen der Bauteilgehäuse große Entfernungen zwischen Halbleiterchip und den notwendigen passiven Komponenten (z.B. Zwischenkreiskondensatoren). Diese verursachen parasitäre Elemente, welche bei sehr schnellen Stromänderungen zu Überspannungen führen. Auch stehen die großen Gehäuse einer angestrebten Miniaturisierung entgegen, die auch für eine automatisierte Fertigung von Vorteil sind.

Im Projekt FLIP (fast-switching low-impedance process-optimized) wurden in dem Zeitraum vom 01.09.2013 bis 30.11.2016, zusammen mit den Projektpartnern TU Berlin, Unimicron Germany GmbH (ehem. Ruwel International GmbH), SMA Solar Technology AG und Infineon Technologies AG, neuartige Fertigungsverfahren für platinenintegrierte Halbleiterbauelemente untersucht und praktisch erprobt. Um bei deren Herstellung mehr Stabilität und ein besseres Wärme-Ma-

Semiconductors and Interconnection

Semiconductors for power electronic circuits are typically sold in discrete TO-packages for through-hole mounting (THT), in discrete packages for surface mounting (SMT) or in modules with spring- or screw-in contacts. The printed circuit boards (PCBs) necessary to carry the current and support the components are manufactured according to the desired layout by specialised companies. This enables the realisation of a finished circuit from these individual components. Just because of the physical dimensions of the component packages, distances between the semiconductor chip and the required passive components (e.g. DC link capacitors) that are large in relation to the size of the semiconductor itself are present. As a result, over-voltages are excited due to fast current changes in the system.

Within the project FLIP (fast-switching low-impedance process-optimized), new manufacturing techniques for circuit board integrated semiconductor elements were investigated and practically tested between 01.09.2013 and 30.11.2016. In cooperation with TU Berlin, Unimicron Germany GmbH (form. Ruwel International GmbH), SMA Solar Technology AG and Infineon Technologies AG, new production processes for PCB-embedded semiconductor components have been investigated and practically tested. To increase the mechanical stability and the thermal dissipation of the prototype modules, the PCBs were



Nahaufnahme der eingebetteten SiC-JFET Schalter im Wechselrichter und deren Gate-Versorgung.

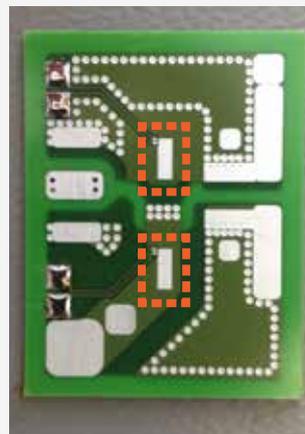
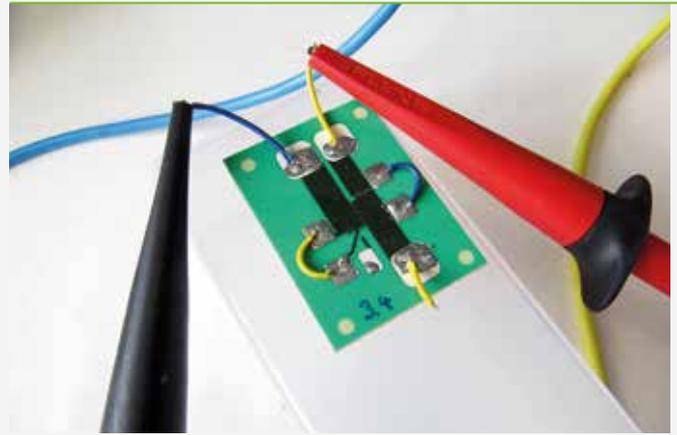
Close-up view of the embedded SiC-JFET semiconductor and their gate drivers at the final demonstrator.

nagement zu erhalten, wurden die Module und Leiterplatten auf IMS Basis hergestellt. Die eingebetteten Halb-Brücken-Modul wurden mit normally on Silizium-Carbid (SiC) 650V JFET Leistungshalbleitern von Infineon realisiert und ein Tiefsetzsteller-Teildemonstrator mit einer Spannungs-kategorie von 400V entwickelt. Dieser erreichte bei einer Taktfrequenz von 100 kHz, einer Nennleistung von 2,3kW und freier Konvektion einen Europäischen-Wirkungsgrad von über 99%. In einem zweiten Demonstrator wurde die DC-AC Stufe eines 400V PV-Wechselrichters mit den gleichen eingebetteten Halbleiterschaltern auf einer großen IMS Leiterplatte aufgebaut. Dieser wurde bei 300kHz, freier Konvektion und bei 1,15 kW betrieben und erreichte, in Abhängigkeit der Speicher-drossel-Konfiguration, Wirkungsgrade von bis zu 96,7% und Europäische-Wirkungsgrade von bis zu 95,95%.

Ansprechpartner
DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS)

Magnetische Bauelemente

Bei PV-Wechselrichtern nehmen die passiven Filterbauelemente einen erheblichen Teil des Volumens im Gerät ein und tragen damit entsprechend auch zu den Systemkosten bei. Magnetische Bauelemente, wie Speicher- und Filter-Drosseln, stehen dabei besonders im Fokus der Untersuchungen.



Eingebettetes Halb-Brücken-Modul mit bereits integrierten 650V SiC-JFET Schaltern.

Embedded half-bridge-module with integrated 650V SiC-JFET semiconductors.

mounted onto an insulated metal substrate (IMS). The embedded half-bridge modules were realised using normally-on silicon carbide (SiC) 650V Infineon JFETs. Their performance has been investigated within a step down converter for 400V applications. This device achieved a maximum European efficiency of more than 99%, using 100 kHz switching frequency, a nominal power of 2.3kW and free convection. In a second demonstrator setup the DC-AC stage of a 400V PV inverter using the same semiconductor switches has been built onto a larger IMS. While applying a switching frequency of 300 kHz a nominal power of 1.15 kW using free convection could be achieved on this second device. Depending on the used storage coils efficiencies of up to 96.7% and European efficiencies of up to 95.95% could be reached.

Magnetic Components

Passive filter components contribute significant to the size and cost of PV converters. Therefore, the investigation of filters is often focused on magnetic components like storage or filter chokes. The reduction of magnetic component size and cost was enabled by two measures – increase of switching frequency and



Gleichtaktdrossel mit großer Jochstreuung.
Common mode choke with high leakage inductance.

Zur Reduzierung von Volumen und Kosten sollen zwei Maßnahmen ergriffen werden: Die Erhöhung der Schaltfrequenz und die funktionelle Integration magnetischer Bauelemente. Die Erhöhung der Schaltfrequenz ermöglicht die Miniaturisierung von Speicherdrosseln. Werden bestimmte Grenzwerte bei Größe und Gewicht unterschritten können die Bauelemente automatisch bestückt werden, was weitere Kosteneinsparungen ermöglicht.

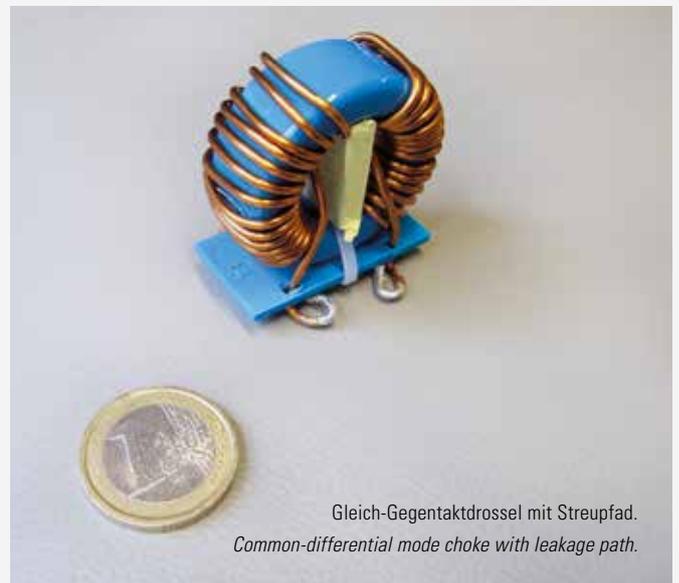
Bei den Filterdrosseln ist eine Kombination von Gleich- und Gegentakt-Filtern möglich. Eine Drossel wird so konstruiert, dass diese gleichzeitig eine hohe Gleich- und Gegentakt-Induktivität aufweist. Dadurch erhöht sich die Ausnutzung des Bauelements und ein einziges Bauelement kann zwei Filterfunktionen effektiv erfüllen. Bei entsprechender Auslegung lassen sich somit für das Filter benötigte Gegentaktdrosseln einsparen. D.h. ein Gleich-Gegentakt-Bauelement ersetzt eine Gleichtaktdrossel und zwei Gegentaktdrosseln, also drei diskrete Bauelemente. Dadurch werden sowohl Materialeinsparungen, als auch Reduzierung der Filterverluste ermöglicht.

Im Rahmen des Projekts wurden entsprechende Techniken erarbeitet, die einen effektiven Entwurf entsprechender Gleich-Gegentaktdrosseln ermöglichen. Verschiedene Bauelemente mit unterschiedlichen Entwurfszielen wurden aufgebaut, charakterisiert und mit dem entwickelten Demonstrator in der Anwendung getestet.

functional integration of magnetic components. The increase of the switching frequency enables downsizing of storage chokes. If the chokes are small and light enough for automated assembly, further cost reduction becomes possible.

The common and differential mode filter chokes can be combined to a single component. The choke is designed in a way that it provides both high common and differential mode inductance. The utilization of the choke increases and allows the fulfilment of two filter functionalities at once. Appropriate component design enables to remove required differential mode chokes. This means one common-differential mode choke replaces one common mode choke and two differential mode chokes, thus three discrete components are replaced by only one. This measure can enable both material savings and filter loss reduction.

One part of the project was the development of appropriate design procedures to enable an effective design of such common-differential mode chokes. Several common-differential mode chokes were assembled according to various design strategies. The components were characterised and tested within the designed demonstrator circuit.



Gleich-Gegentaktdrossel mit Streupfad.
Common-differential mode choke with leakage path.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektpartner:



Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16ES0129K

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel

ECPE HIGH-SIDE DRIVER



Sponsored by ECPE
European Center for Power
Electronics e.V.

Laboraufbau zum Test und Vergleich
von Gate-Treiber-Schaltungen.

*Evaluation-board for benchmarking
gate-driver circuits.*

Um den herausfordernden Bedingungen einer hohen Leistungsdichte bei gleichzeitig hohen Wirkungsgrad gerecht zu werden und zeitgleich geltende Regeln einzuhalten, nutzen Entwickler zunehmend Leistungsbauteile mit hohen Schaltgeschwindigkeiten, um die anfallenden Energien beim Schalten massiv zu reduzieren. Leistungsbauelemente auf Basis von SiC und GaN können dabei Schaltgeschwindigkeiten von mehr als 100V/ns erreichen. Zeitgleich sind viele der heute kommerziell verfügbaren Gate-Treiber nicht für solch schnelle Schaltflanken geeignet. Die Limitierungen liegen hier sowohl im Bereich der Signal-trennung als auch der Versorgungs-isolation. Zudem decken die vorhandenen Prüfmetho-den und Standards nicht zwingend die kritischen Fälle einer Applikation ab.

Das durchgeführte ECPE-Projekt zielte dabei auf die beschriebenen Herausforderungen ab und es wurden somit die Anforderungen für High-Side-Gate-Treiber zur Anwendung bei schnellschaltenden Halbleiterschaltun-gen, wie z.B. GaN, betrachtet. Neben den schnellen Kommutierungsvorgängen der GaN-Halbleiter wurden somit auch die Signal- und Versorgungs-isolation betrachtet.

Empfindliche Teile eines High-Side-Gate-Treibers wurden im Verlauf des Projekts herausgearbeitet und kritische Teile einer typischen Gate-Treiber-Schaltung konnten identifiziert werden. Dabei konnten zahlreiche praktische Lösungen für den Betrieb von schnellschaltenden Halbleiterbauelementen erarbeitet und vorgeschlagen werden und führten schließlich zu einem erfolgreichen Abschluss des Projekts.

In order to comply with the challenging conditions of high power density at high efficiency levels and requirements of regulating entities, design engineers need to make use of high switching speed capabilities of new power devices in order to massively reduce switching energy levels. Power devices based on SiC and GaN are capable of switching speed levels higher than 100V/ns. At the same time, most currently available gate driver technologies are not suited for such high levels of switching speeds because of critical limitations regarding signal isolation as well as supply isolation. Furthermore, existing verification methods/standards for driver capabilities do not necessarily define the most critical cases in the application.

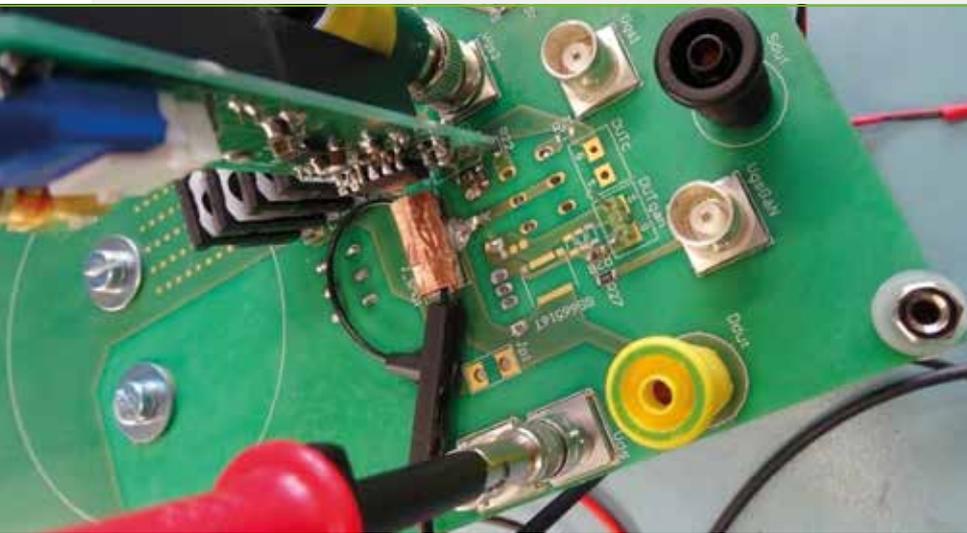
This ECPE project focused on the referred challenges and investigated the requirements for high-side gate-drivers serving fast-switching semiconductors like GaN. Next to the fast commutation process of GaN semiconductors the signal isolation as well as the supply isolation was subject of this project.

The project has been finished showing up the sensitive parts of a high-side gate-driver and identifying critical parts of a typical gate-driving circuit. Several practical solutions for operating with fast-switching semiconductor devices could be offered with completion the project.

Ansprechpartner
DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel
**ECPE UNTERSUCHUNG DER KURZSCHLUSS-
FESTIGKEIT VON SI-, SIC- UND GAN-
LEITERN**

title
**ECPE INVESTIGATION OF SHORT-CIRCUIT-
CAPABILITIES OF SI-, SIC- AND GAN-
SEMICONDUCTORS**



Platine zur Kurzschlussuntersuchung am EVS.
Short-circuit evaluation-board designed at the EVS.

Im Rahmen dieses ECPE-Projekts wurde die Widerstandsfähigkeit der drei gängigen Halbleitermaterialien Silizium (Si), Silizium-Carbid (SiC) und Gallium-Nitrid (GaN) in Bezug auf einen Kurzschluss untersucht. Für einen sicheren und langjährigen Betrieb muss bei SiC ein Kurzschluss innerhalb von $1,5\mu\text{s}$ sicher detektiert und abgeschaltet werden, während man bei Si-Bauteilen eine Zeitspanne zwischen 5 und $15\mu\text{s}$ zur Verfügung hat. Obwohl diese Reduzierung der Zeitspanne bei höheren Schaltfrequenzen notwendig ist, stellt die zuverlässige Detektion besonders in belasteten Umgebungen eine wesentliche Herausforderung dar. Auch die beobachteten Überspannungen beim Abschalten eines Kurzschlusses stellen hohe Anforderungen an das Gate-Treiber-Design und den Kommutierungskreis. Spezielle, weichschaltende Ansteuerungen müssen nach dem Kurzschluss greifen, um die Stromanstiegsgeschwindigkeiten zu limitieren und somit die Überspannungen zu reduzieren.

Ein neuer Fehlermechanismus konnte für GaN-Halbleiter identifiziert werden, der statt thermischen Ursprungs, wie bei Si und SiC, nun eher elektrischen Ursprungs ist. Die untersuchten GaN-Bauteile sind unter Kurzschlussbedingungen bei ansonsten üblichen Betriebsbedingungen von Natur aus anfällig. Grundsätzlich zeichnen sich die Zwischenkreis- und Gate-Spannung als entscheidende Parameter bezüglich des Kurzschlussverhaltens von wide-bandgap (WBG)-Bauteilen ab – deutlich stärker, als bei herkömmlichen Si-Bauteilen.

This ECPE-project deals with the investigation of durability of different semiconductor materials like silicon (Si), silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN). For reliable and long-time operation, short circuit identification for SiC devices needs to take place within less than $1.5\mu\text{s}$ after short circuit, while Si devices are safe within 5 to $15\mu\text{s}$. While such reduction is required when one considers higher switching frequencies, its detection becomes a significant challenge within the noisy environment. Furthermore, the overvoltage observed at turn-off poses a serious challenge for the gate-driver design – here a special soft control of the device needs to take place after short circuit in order to limit the di/dt values (and thus overvoltage).

Within the project a new form of failure has been identified for GaN devices, possibly electrical rather than the thermal failure observed on SiC and Si devices. Devices are inherently fragile under short circuit conditions on nominal operation conditions. In general, DC-link and gate voltage are crucial parameters impacting the short circuit performance of wide-bandgap (WBG) devices, much more critical in comparison to Si devices.



Sponsored by ECPE European Center for Power Electronics e.V.

Ansprechpartner
CHRISTIAN FELGEMACHER, M.ENG. (EVS)

Titel
ECPE UMFRAGE ZUR ZUVERLÄSSIGKEIT

title
ECPE SURVEY ON RELIABILITY

Die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von elektrischen und elektronischen Komponenten, sowie ganzen Systemen ist in vielen Anwendungsfeldern von wesentlicher Bedeutung. Aus diesem Grund wurde für dieses ECPE-Projekt eine wissenschaftliche Umfrage erarbeitet, die kritische Komponenten innerhalb der verschiedenen elektrischen Systeme in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern identifizieren soll. Ziel der Untersuchung ist es zu ermitteln in welchen Bereichen der Leistungselektronik Forschung durchgeführt werden soll, um die zukünftigen Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsziele zu erreichen.

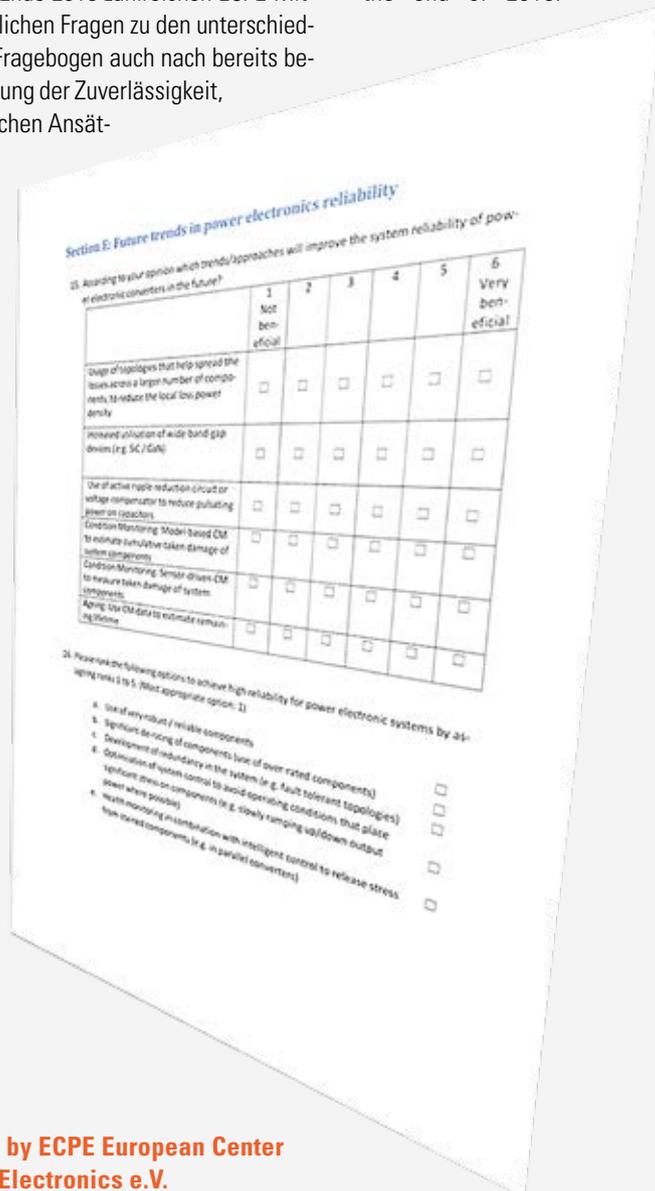
The reliability and lifetime of electric and electronic components as well as entire systems is of critical importance in many application fields. For this reason a scientific survey was developed for this ECPE project with the intention of identifying critical components in the different fields of application. The aim of the investigation is to determine in which areas of power electronics research should be conducted to meet the future lifetime and reliability targets.

Die erarbeitete Umfrage umfasst dabei u.a. die Bereiche der Windenergie, der Photovoltaik, der Traktion und E-Mobilität. In direkter Zusammenarbeit mit der Christian-Albrechts-Universität in Kiel und der ECPE wurde der Fragebogen bis Ende 2016 zahlreichen ECPE-Mitgliedern vorgelegt. Neben grundsätzlichen Fragen zu den unterschiedlichen Anwendungsfeldern wird im Fragebogen auch nach bereits bestehenden Aktivitäten zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit, sowie nach Einschätzungen zu möglichen Ansätzen zur Zuverlässigkeitsoptimierung gefragt.

The developed survey covers the fields of wind power, photovoltaics, traction, e-mobility and others. In direct cooperation with the Christian-Albrechts-Universität in Kiel and the ECPE the survey was presented to numerous ECPE-members until the end of 2016.

Weiterhin wird gefragt auf welche Komponenten sich zukünftige Arbeiten fokussieren sollen und wie gewisse Trends in der Leistungselektronik in Bezug auf die Zuverlässigkeit eingeschätzt werden.

Furthermore, it is asked which components future work should focus on and how certain trends in power electronics are evaluated in reference to the reliability.



Sponsored by ECPE European Center for Power Electronics e.V.

ECPE-Fragebogen zur Zuverlässigkeit von leistungselektronischen Komponenten und Baugruppen. Survey of ECPE regarding reliability of power electronic components and modules.

Ansprechpartner
DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS)

Titel
**HYBRID- UND LUFTSPULEN FÜR ZUKÜNFTIGE
LEISTUNGSELEKTRONIK**

Die Frequenzerhöhung in leistungselektronischen Wandlern ermöglicht die Reduzierung der Baugröße von passiven Filterbauelementen. SiC und GaN Halbleiterbauelemente erlauben den Betrieb bei mehreren 100kHz hartschaltend oder im Bereich von 1MHz weichschaltend, sogar für Wandler in der unteren kW Leistungsklasse. Jedoch führt die Baugrößenverringern von passiven Bauelementen zu erhöhten Verlustleistungen je Bauteilvolumen. Speziell ferromagnetische Kerne für magnetische Bauelemente in leistungselektronischen Anwendungen können nur begrenzt Wärme über ihre Oberfläche abführen.



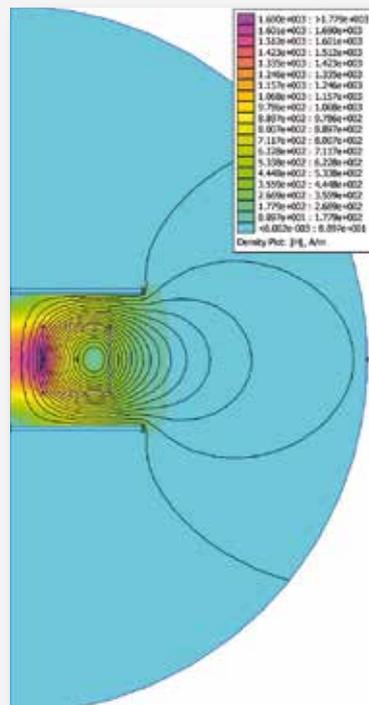
Luftspulen-Prüflinge.
Air coil test samples.

Der Einsatz von Luftspulen oder einer Mischung aus Luft- und herkömmlicher Spule (sogenannte Hybride) kann sowohl für die Bauteilreduzierung, als auch für die Kühlung vorteilhaft sein. Wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit und thermischen Belastbarkeit kann Kupfer sehr viel höhere Verluste abgeben als die meisten ferromagnetischen Kerne. Weiterhin erhöht das Entfernen des Kerns die Wicklungsfläche, welche durch Kühlmedien erreichbar ist. Diese Eigenschaften machen den Einsatz von Luftspulen für hohe Schaltfrequenzen in leistungselektronischen Anwendungen interessant. Da bei erhöhten Schaltfrequenzen auch geringe Induktivitätswerte benötigt werden, können Luftspulen mit begrenzter Wickellänge realisiert werden. Das Projekt untersucht daher geeignete Geometrien bezüglich Spulen- und Komponentengröße, Schirmungsaufwand, Verlustleistung und anderen Aspekten von Luftspulen für die Leistungselektronik.

title
**HYBRID AND CORELESS MAGNETICS FOR
FUTURE POWER ELECTRONICS**

The operation frequency increase in power electronic converters enables the downsizing of passive filter component. SiC and GaN semiconductor devices allow the operation at several 100kHz hard-switched or in the range of 1MHz soft-switched even for converters in the lower kW power class. However, the downsizing of the passive components leads to increasing power loss per device volume. Especially ferromagnetic cores used for magnetic components in power electronic applications can dissipate only a limited amount of heat through the surface.

The application of air coils or a composition of conventional and air coils (so called hybrids) can be advantageous regarding both downsizing and cooling. Due to its high thermal conductivity and thermal capacity, copper can dissipate much more power loss compared to most ferromagnetic cores. Furthermore, the removed core increases the winding surface which is accessible by coolant flow. These properties make the application of air coils at elevated switching frequencies interesting for power electronic converters. The decrease of required inductance values for high switching frequencies allows the realization of air coils with limited wire length. The project investigates applicable geometries regarding coil and device size, shielding effort, power loss and other aspects of air coils for power electronics.



Simulation einer Luftspule mit
Schirmung.
*Simulation of air coil with
shielding.*



Sponsored by ECPE European Center for Power Electronics e.V.

Ansprechpartner

DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE (EVS)

Titel

NEUE PROJEKTE: NR2-RPC

title

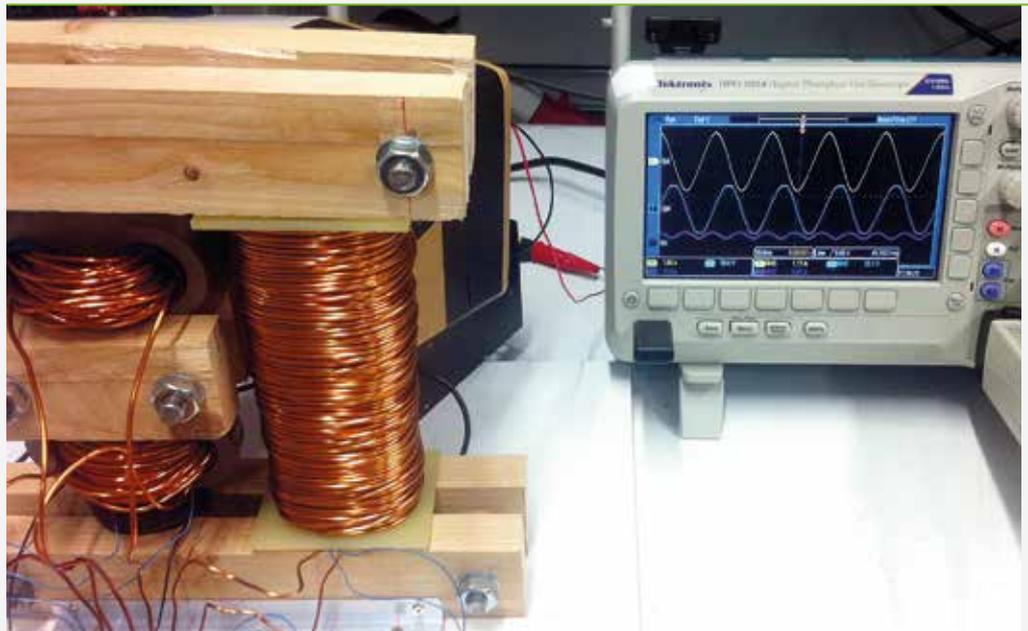
NEW PROJECTS: NR2-RPC

Am 01.12.2016 ist das Bundesprojekt mit dem Titel „Neuartige robuste Stellglieder zum Blindleistungsmanagement in Verteilnetzen“ und dem Akronym „NR2-RPC“ gestartet, welches zunächst auf 3 Jahre ausgelegt ist. Das Fachgebiet EVS arbeitet mit 2 Wissenschaftlern an dem Teilvorhaben „Entwicklung von neuartigen robusten Stellgliedern“. In dem Teilvorhaben wird die Entwicklung von neuartigen Kompensationsanlagen mittels magnetischer Lösungen betrieben.

Hintergrund des Projektes ist die Richtlinie zur Einspeisung von Blindleistung der Erneuerbaren Energien durch vorgegebene $\cos\varphi(P)$ -Kennlinien an den Anschlusspunkten. Diese Blindleistung kann zum einen zur Spannungs- und Blindleistungsregelung genutzt werden, wodurch mehr Erzeuger in ein bestehendes Netz integriert werden können. Zum anderen darf sich eine Problemlösung im Verteil- und Niederspannungsnetz nicht in andere Spannungsebenen verschieben. Hierbei muss die Blindleistung lokal eingesammelt und kompensiert werden, um die Netzstabilität weiterhin zu gewährleisten. Diese Möglichkeit trägt zum Klimaschutzplan der Bundesregierung bei, den Anteil der erneuerbaren Energien im Strombereich von derzeit rund 30% auf 45 % bis 2025 und auf sogar 80 % bis 2050 zu erhöhen.

Das Fachgebiet EVS ist Konsortialführer und leitet das Projekt, in welchem der Industriepartner „Eisenmann Thermal Solutions GmbH & Co. KG“ aus Bovenden beteiligt ist. Dieser wird sich im Rahmen des Projektes u.a. mit technischen und konstruktiven Umsetzung der entwickelten Konzepte beschäftigt.

On 01.12.2016, the federal project entitled “New robust control elements for reactive power management in distribution grids” with acronym “NR2-RPC” was launched, being initially planned for 3 years. The department EVS is working with two scientific employees on the subproject “Development of new robust control elements”, whose target is the design of novel compensating systems by means of magnetic solutions.



Experimenteller Aufbau einer regelbaren Netzdrossel mittels Vormagnetisierung.

Experimental setup of a controllable mains choke by means of premagnetisation.

The project background is the guideline for the supply of reactive power of renewable energies through given $\cos\varphi(P)$ -characteristics at the connection points. This reactive power can be used on the one hand for voltage and reactive power regulation, whereby more generators can be integrated into an existing network. On the other hand, a problem solution in the distribution and low-voltage network is not allowed to be moved into other voltage levels. In this case, the reactive power must be locally collected and compensated in order to ensure grid stability. This possibility contributes to the Federal Government's climate action plan to increase the proportion of renewable energies in the electricity sector from currently around 30% to 45% by 2025 and even to 80% by 2050.

The department EVS is acting as consortium leader and heads the project, in which the industrial partner “Eisenmann Thermal Solutions GmbH & Co. KG” from Bovenden takes part. This will be concerned within the framework of the project with technical and constructive implementation of the developed concepts.

Gefördert durch:



**Gefördert durch: Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0324106A**

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ansprechpartner

EDUARDO DE OLIVEIRA, M.ENG. (EVS)

Titel

NEUE PROJEKTE: „HELENE“

title

NEW PROJECTS: HELENE

Seit dem 01.01.2017 wird am KDEE-EVS das seit 2015 vorbereitete öffentlich geförderte Projekt mit dem Akronym "HELENE" bearbeitet. In dem für drei Jahre geplanten Projekt mit dem vollen Titel „Hoch-effiziente, langlebige und kompakte Leistungselektronik auf GaN-Basis für die Elektromobilität der Zukunft“ werden insgesamt drei wissenschaftliche Mitarbeiter an neuen kompakten leistungselektronischen Wandlern für die Elektromobilität, sowie neuartigen und integrierten magnetischen Bauteilen forschen.

Das KDEE beteiligt sich dabei mit dem Teilvorhaben „Entwicklung innovativer Bordnetzrichter auf GaN-Basis“ und entwickelt hierbei einen DC/DC-Bordnetzwandler mit GaN-Halbleitern und adaptiven magnetischen Bauelementen.

Das Forschungsprojekt zielt insgesamt auf die Erforschung der Grundlagen hochdynamischer, kompakter Bordnetzrichter zur Reduzierung bis hin zum Entfall der 48 V-Batterie und Ladegeräten mit 60 % höherer Leistungsdichte und 40 % geringeren Verlusten gegenüber dem Stand der Technik, bei Erfüllung international geltender Zuverlässigkeitsanforderungen.

Neben der Universität Kassel sind als Konsortialpartner Hella KGaA Hueck&Co., das Fraunhofer IISB, die Universität Paderborn, SUMIDA Components & Modules, das Kompetenzzentrum Fahrzeug Elektronik GmbH (KFE) und die AUDI AG beteiligt.

Starting on Jan. 1st, 2017, the KDEE-EVS is working on the federally funded project with the acronym "HELENE", which has been prepared since 2015. Over the course of three years, three scientific employees will be working on new compact power electronic converters and on integrated magnetic components for this project with the full title "Highly efficient, long-lasting and compact power



Größenvergleich von Si-IGBT und GaN-Halbleiterschalter.

Size comparison of Si-IGBT and GaN-Semiconductors.

electronics based on GaN technology for the electro mobility of the future". The KDEE is contributing to this endeavour through the development of innovative power electronic on-board power supply systems based on GaN-semiconductors and adaptive magnetic components".

The research project aims to investigate the basic principles of highly dynamic and compact on-board power supply systems as well as battery charging devices. A reduction or even removal of the 48 V batteries in addition to a 60% increase in power density and a 40% decrease in electrical losses compared to state of the art technology are of major interest, while still fulfilling international reliability requirements.

Besides the University of Kassel, involved partners are Hella KGaA Hueck&Co., Fraunhofer IISB, University of Paderborn, SUMIDA Components & Modules, Kompetenzzentrum Fahrzeug Elektronik GmbH (KFE) and AUDI AG.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung
unter dem Förderkennzeichen 16EM00234**

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS), LUCAS MENEZES, M.SC. (EVS)

Titel

AUTOMATISIERTE KOMMUTIERUNGSZELLE

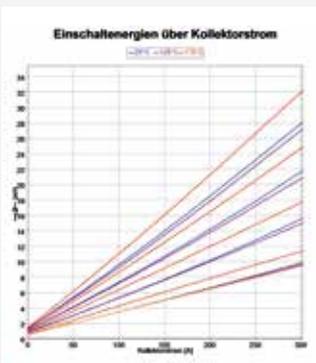
title

AUTOMATED COMMUTATION CELL

Seit 2011 wird am Fachgebiet EVS ein Messgerät zur automatisierten Erfassung und Auswertung von Halbleiterverlusten stetig weiterentwickelt. Da neueste Halbleiter – unabhängig ob auf Si-, SiC- oder GaN-Basis – von den Herstellern meist nur mit einem rudimentären Datenblatt an Forschungseinrichtungen und Entwicklungsabteilungen ausgeliefert werden, ist es für Forschungsprojekte von immanenter Bedeutung, Details über das Durchlass- und Schaltverhalten des Halbleiters zu kennen. Aus diesem Grund werden sowohl in der Industrie als auch Forschungsinstituten mittels Doppel- oder Mehrfachpulstests die Parameter eines Halbleiterschalters ermittelt.

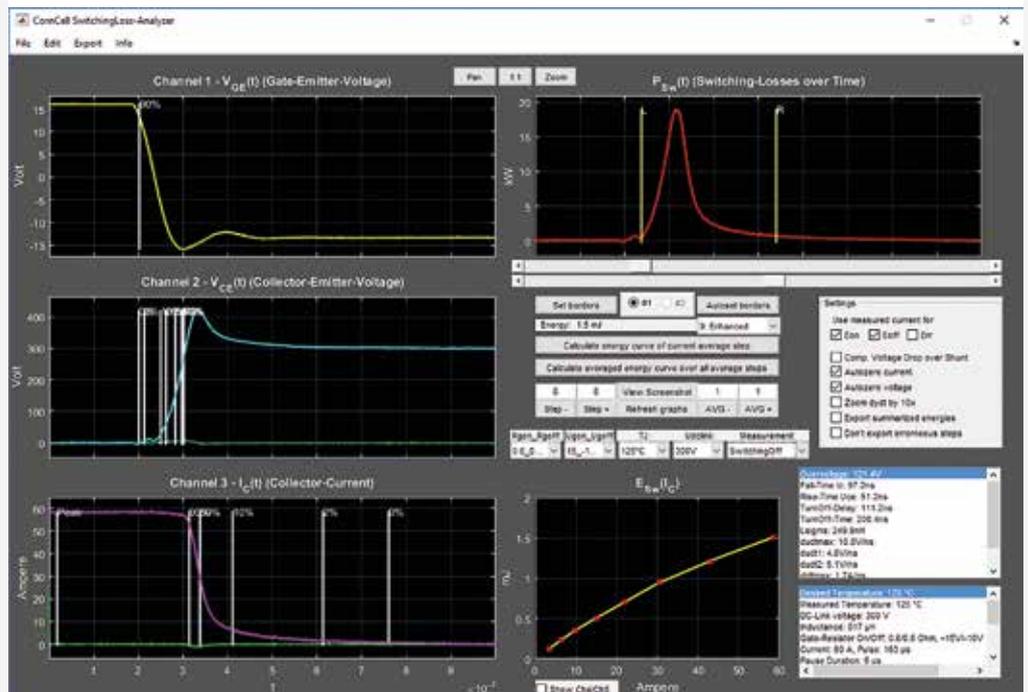
Aufgrund der Vielzahl an Freiheitsgraden beim Betrieb eines Halbleiterschalters erfordert eine umfassende Kennlinienaufzeichnung zahlreiche Parameteränderungen. Hierfür wurde am Fachgebiet eine Automatisierungssoftware entwickelt, die neben der Zwischenkreisspannung, der Temperatur und des Bauteilstroms auch in der Lage ist die Gatespannung automatisiert nachzuführen. Die Schaltenergien werden wahlweise auf Basis der IEC60747-9 ausgewertet, sowie die Durchlassverlustkennlinien aufgenommen. Zusatzfunktionen wie z.B. Autozero-Funktionen für Strom und Spannung, du/dt - und di/dt -Erfassung, Parallel- und Serienschaltungsunterstützung von Bauteilen und Zeiterfassung von Signalverläufen erleichtern die Analyse von neuen Halbleitern erheblich.

Nach Erfassung der Rohdaten erlaubt die Software neben einer Sichtprüfung der Daten einen komfortablen Export der Ergebnisse z.B. als interaktive Excel-Tabelle, oder in Softwares wie TopBench (fachgebietsinterne Bauteil- und Schaltungsvergleichssoftware des EVS) und Plexim PLECS (leistungselektronische Simulationssoftware) zur weiteren Verarbeitung.



Beispiel eines automatisch vermessenen Halbleiterschalter-Kennlinienfeldes.

Example of a automatically measured semiconductor characteristic diagram.



Hauptbildschirm der Auswertungssoftware.

Mainscreen of analysis software.

Since 2011, the KDEE continuously improves a self-designed measurement device for automated measuring and evaluation of semiconductor losses. Newly developed semiconductor components – regardless of their underlying chemical composition – are often outfitted to research facilities and development departments with only rudimentary datasheets. For research projects though, it is of great importance to know details about the conduction and switching behaviours of these components. For this reason, the parameters of semiconductor switches are identified with double or multiple pulse tests by the industry as well as by research institutes.

As semiconductor switch operations inherently have lots of degrees of freedom, a widespread characteristic curve acquisition requires many parameter changes. For this task, the department developed software to automate the characterisation processes, which controls and records the DC link voltage, the temperature, the device current and the gate voltage. The switching losses will be recorded in according to IEC60747-9 and the conduction loss curves can be measured. Additional functionality like auto-zero for current and voltage measurements, du/dt and di/dt logging, support for parallel and serial switch setups as well as the recording of additional signals simplify the analysis of new semiconductor devices extensively.

After recording the raw data, the software allows both a visual inspection of the data and a comfortable export of the results e.g. to an interactive Excel-Spreadsheet, to TopBench (an internal benchmark software of EVS) and to the circuit simulator Plexim PLECS for further processing.

Ansprechpartner
DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS)

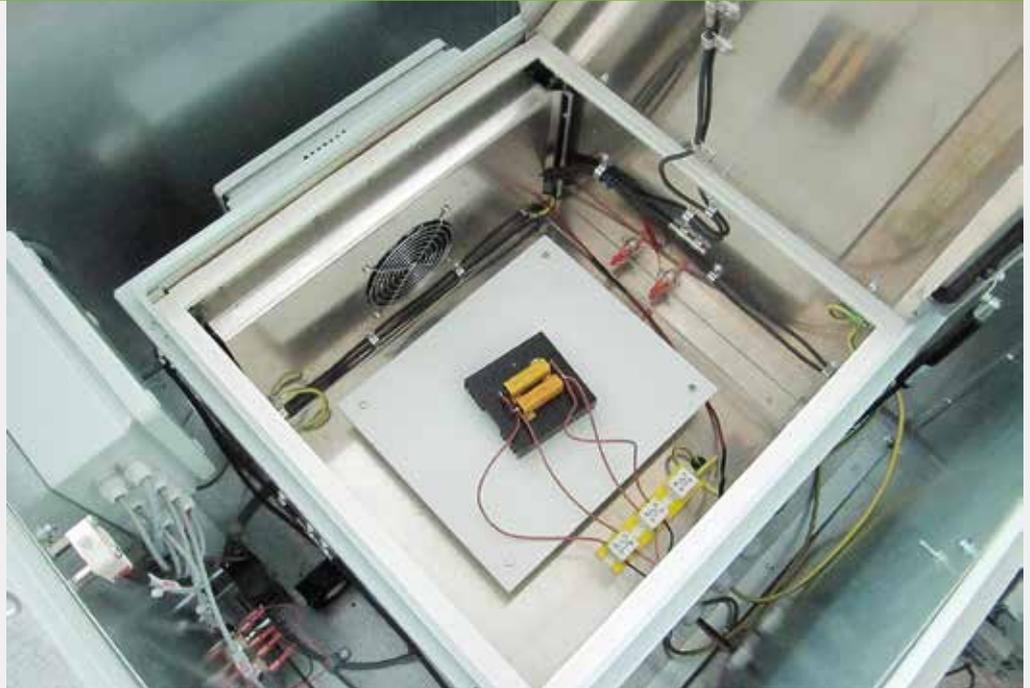
Titel
KALORIMETER

title
CALORIMETRIC MEASUREMENT SETUP

Die Verlustleistung von magnetischen Komponenten lässt sich oft nur mittels kalorimetrischen (wärmemengenbestimmende) Messverfahren mit hoher Genauigkeit bestimmen, da magnetische Komponenten in leistungselektronischen Anwendungen oftmals mit hochfrequenten Rechteckspannungen betrieben werden. Am Fachgebiet EVS wurde daher ein kalorimetrischer Prüfstand entwickelt, der eine direkt Verlustleistungsmessung des Prüflings nach dem Kompensationsprinzip ermöglicht. Dabei werden die Umgebung des Prüflings und ein Referenzraum jeweils auf eine konstante Temperatur geregelt. Verursacht der Prüfling Verlustleistung, wird die Leistung der Heizung in der Umgebung des Prüflings genau um die Prüflings-Verlustleistung herunter geregelt, um die Temperatur konstant zu halten. So können kalorimetrische Messungen in kurzer Zeit durchgeführt werden, da nur die thermische Kapazität des Prüflings umgeladen werden muss.

Der Prüfstand kann eine Umgebungstemperatur von bis zu 100°C dauerhaft für den Prüfling bereitstellen. Dadurch können Prüflinge mit bis zu 200W Verlustleistung gemessen werden. Der Messbereich kann jedoch verringert werden, um auch die Verlustleistung von kleineren Prüflingen mit hoher Genauigkeit zu messen. Dadurch wird auch die Verlustleistungsmessung bis zu 1W oder weniger ermöglicht.

Um eine einfache Bedienung des Prüfstandes zu ermöglichen wurde eine Control-Box entwickelt. Diese beinhaltet die wichtigsten Bedienelemente sowie entsprechende Sicherheitstechnik, um im Fehlerfall den Prüfstand auszuschalten. Alle weiteren Funktionen des Kalorimeters können bequem per Software gesteuert werden. Diese bietet auch entsprechende Funktionen für die Auswertung und Überwachung der Messungen.



Prüf- und Referenzraum des Kalorimeters.
Test and reference chamber of the calorimeter.

Due to high frequency rectangular voltage excitation of magnetic components in power electronic applications, high accuracy power loss measurement of these components is very often performed by means of calorimetric (heat-quantity-determining) measurement setups. The department EVS developed a calorimetric measurement setup for direct power loss measurement of devices under test (DUT) by means of the compensation method. The ambient of the DUT and the ambient of a reference space are controlled to enable a constant temperature. If the DUT dissipates power loss, the power of the heater is reduced by the power loss of the DUT to keep the temperature constant. This enables quick calorimetric measurements, because only the thermal capacitance of the DUT must be reloaded.

The measurement setup can enable ambient temperatures up to 100°C. The maximum measurable power loss of the DUT is 200 W. The measurement range can be reduced in order to allow accurate measurement of low power loss. Therefore, power loss measurement of 1W or even less is possible.

EVS developed a control box in order to enable a simple handling of the measurement setup. The control box includes the most important operating elements as well as safety systems for the shutdown of the measurement setup in case of failure. Further functions can be handled by means of the software, enabling functionality for the quick evaluation and monitoring of the measurement as well.

Ansprechpartner

DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS), EDUARDO DE OLIVEIRA, M.ENG. (EVS)

Titel

**LEISTUNGSELEKTRONISCHE BORDNETZ-
WANDLER FÜR HYBRID- UND ELEKTRO-
FAHRZEUGE**

title

**POWER ELECTRONIC ON-BOARD POWER
SUPPLY SYSTEMS FOR HYBRID AND
ELECTRIC VEHICLES**



48V Bordnetzwanler Prototyp.
48V on-board power supply prototype.

Zur Einsparung von fossilen Treibstoffen und Verringerung von Emissionen werden in modernen PKW nahezu alle Funktionen, bis hin zu Traktionsantrieben, teilweise oder vollständig elektrifiziert. Dabei sind Batteriespannungen von bis zu 500V vorgesehen um Verluste auf Grund hoher Ströme zu verringern. Weiterhin ist absehbar, dass sich neben der 12V und der Hochvolt-(HV)-Ebene eine dritte Spannungsebene mit 48V etablieren wird, um die nötigen elektrischen Aggregate größerer Leistung zu versorgen und das 12V-Bordnetz zu entlasten. Im Automobilbereich werden Spannungen oberhalb von 60V als HV-Bereich behandelt, was zu erheblichem zusätzlichem Aufwand für den Berührungsschutz führt. Die Karosserie darf dabei nicht als elektrische Masse verwendet werden. Daher muss die Verbindung zu den anderen Spannungsebenen über z.T. isolierte bidirektionale DC/DC-Wandler stattfinden.

Um einen effizienten Energietransfer zwischen den Teilnetzen zu ermöglichen, sowie die Einhaltung der geforderten Funktionen, Eigenschaften, Qualität und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, sind spezielle Schaltungskonzepte bei der Entwicklung dieser Wandler notwendig. Weiterhin sollen Kosten, Gewichte, Volumen und Gesamtverluste gering gehalten werden. Das EVS hat in den letzten Jahren viel Erfahrung im Bereich der Entwicklung von Automotive-Bordnetzwandlern gesammelt. Dabei wurden viele Untersuchungen hinsichtlich der Umsetzung neuartiger Halbleiter, Topologien und Konzepte für Integration magnetischer Bauelemente durchgeführt. Mehrere hart und weich geschaltete Topologien für HV/12V- und HV/48V-Bordnetzwandler mit magnetisch integrierten Bauteilen wurden aufgebaut, getestet und bewertet. Aufgrund der hohen Anforderungen an Effizienz und Kompaktheit wird für diese Anwendung auch der Einsatz von Resonanzwandlern verfolgt. Beispielsweise wurde hierbei ein 1kW HV/48V-Bordnetzwandler mit magnetisch integriertem Transformator aufgebaut, dessen Maximal-Wirkungsgrad bei 95,8 % lag.

The electrification in automotive engineering of nearly all components including the power train enables reduction of fuel consumption and emissions in modern cars. Battery voltages up to 500V are provided. Beside the 12V- and the high-voltage-(HV)-level, a third 48V level will be introduced. This 48V level enables the supply of high power consumers and relieves the 12V grid. In automotive applications, voltages above 60V are treated as high voltage. This issue requires a significant additional effort regarding electric shock protection. It is not allowed to use the car body as ground. Therefore, the connection between the different voltage levels must be partially enabled by galvanic isolated bidirectional DC/DC converters.

High efficient energy transfer between the different grids as well as compliance of functionality, quality and reliability requires the design of innovative circuits for such converters. Furthermore, cost, weight, size, and power loss have to be kept low. In the last years, the department EVS obtained a lot of experience in designing automotive on-board power supplies. Many investigations regarding innovative semiconductors, topologies and concepts for the integration of magnetic components were performed. Several hard and soft switched topologies were assembled, tested and benchmark. Because of the high requirements regarding efficiency and compactness, the implementation of resonance converters is investigated, too. For example a 1kW HV/48V on-board power supply with magnetically integrated transformer enabled a maximum efficiency of 95.8%.

Ansprechpartner

DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS), DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE (EVS), JIAJING WENDE, M.SC. (EVS)

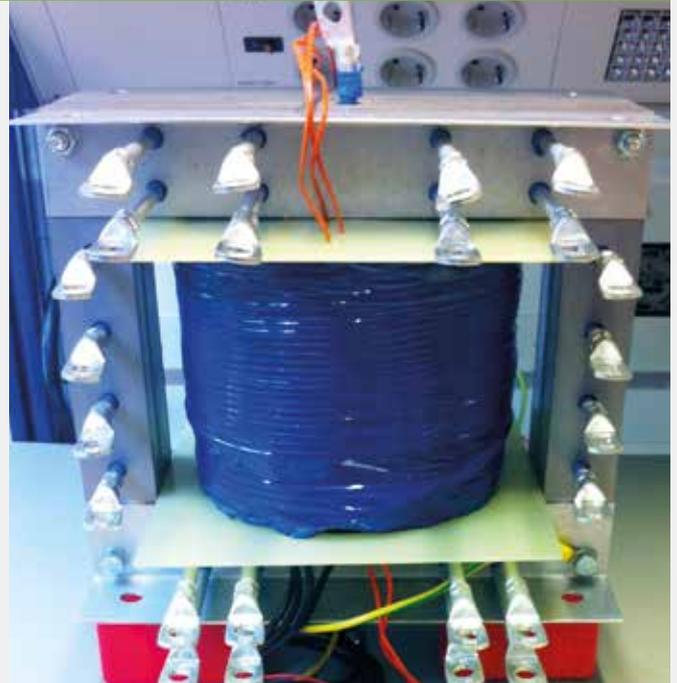
Titel

STUERBARE INDUKTIVE BAUELEMENTE

title

CONTROLLABLE INDUCTIVE COMPONENTS

Regelbare Netzdrossel zur Blindleistungskompensation für Niederspannungsanwendungen.
Controllable inductive line reactor for reactive power compensation.



Magnetische Bauelemente sind in der Leistungselektronik weit verbreitet und bei für heutige Leistungselektronik gebräuchlichen Frequenzen unvermeidbar. Dennoch wurde in den vergangenen Dekaden die Aufmerksamkeit und die Forschungs- und Entwicklungsaktivität in der Leistungselektronik vor allem auf die Halbleiterbauelemente gerichtet. Seit einigen Jahren stehen magnetische Bauelemente wieder intensiver im Fokus von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Im Vergleich zu den Halbleiterbauelementen sind magnetische Bauelemente bei ordnungsgemäßer Dimensionierung erheblich robuster, langlebiger und zuverlässiger.

Der Erforschung steuerbarer induktiver Bauelemente wird daher am Fachgebiet EVS hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Bei der Steuerung von induktiven Bauelementen werden dabei die nichtlinearen Eigenschaften der Materialien bestmöglich ausgenutzt. Ziele dabei sind die grundlegende Untersuchung und Modellierung steuerbarer Induktivitäten mit verschiedenen Konstruktionsprinzipien und unterschiedlichen magnetischen Materialien. Die Ermittlung der Verlustleistung liegt ebenfalls im Fokus der Forschungsprojekte.

Mit der Energiewende werden zudem erneuerbare Energien für die elektrische Energieversorgung kontinuierlich ausgebaut, was gleichzeitig neue Problemstellungen in Bezug auf die Stabilität des Verteil- und Versorgungsnetzes nach sich zieht. Hierzu werden als Gegenmaßnahme beispielsweise regelbare Netzdrosseln zum Blindleistungsmanagement entwickelt und Konzepte für regelbare Transformatoren zur weiteren Netzstabilisierung im Fachgebiet vorangetrieben. Die induktiven Bauelemente werden hierbei sowohl analytisch durch Simulationen, als auch experimentell auf Funktionsweise, Stabilität und Regelbarkeit untersucht. Steuerbare Drosseln können in weiteren Anwendungsbereichen wie PV-Umrichter, Filterkreise oder PFC Schaltungen eingesetzt werden.

Magnetic components are common in many power electronic circuits and are unavoidable using frequencies usual for today's power electronic. Nevertheless in previous decades the research and development in power electronic applications was often focused on semiconductor devices. For several years, research and development is engaged in magnetic components again. In comparison to semiconductor components, magnetic components can take advantage of higher robustness, reliability and lifetime.

Therefore, the department EVS increases its attention on controllable inductive components. The non-linear behaviour of the core material can be used to enable the controllability of the inductive component. Main objectives are basic investigations of controllable inductive components as well as the modelling and design of different construction techniques and materials. The power loss evaluation is an important issue, too.

Besides this the German changeover in the electric energy supply (so called "Energiewende") to more and more renewable generators causes stability issues of the grid and the distribution network. The development of controllable line reactors for reactive power management is one measure to solve such issues. Furthermore, concepts for controllable transformers for further grid stabilization are examined in the department. The inductive components are analysed analytically, by means of simulations and experimentally regarding functionality, stability and controllability. Other possible applications are controllable chokes for PV inverters, filters or PFC circuits.

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS), DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS)

Titel

**LABORINFRASTRUKTUR: ELEKTRISCHE
CHARAKTERISIERUNG VON KOMPONENTEN**

title

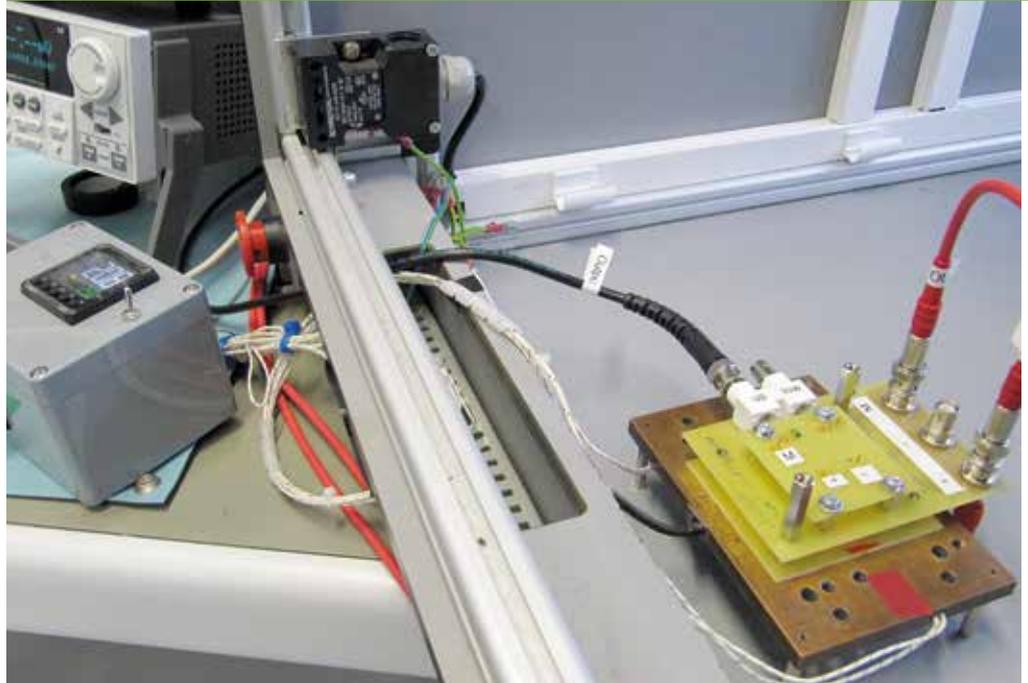
**LABORATORY EQUIPMENT: ELECTRICAL
CHARACTERISATION OF COMPONENTS**

Für die Entwicklung von leistungselektronischen Schaltungen ist die Kenntnis der Bauteilcharakteristik der benötigten Bauelemente von großer Bedeutung. Dem Fachgebiet EVS steht für die Charakterisierung der Bauelemente ein breites Spektrum an Messgeräten zur Verfügung.

Mit einer eigens entwickelten Schaltzelle können die Durchlass- und Schaltverluste von Halbleiterschaltern und Modulen gemessen werden. Eine Automatisierung des Messaufbaus ermöglicht eine komfortable Akquirierung von Verlustdaten in Abhängigkeit von Strom, Spannung, Temperatur, Gate-Spannung und -Widerstand. Zur Ermittlung der statischen Parameter der Halbleiterbauelemente stehen außerdem ein zweikanaliges Source-Meter sowie ein dazu passender HV-Konstanter zur Verfügung. Hiermit lassen sich beispielsweise die Sperrcharakteristik, die Gate-Charakteristik sowie die Vorwärtscharakteristik der Bauteile präzise messen.

Für passive Bauelemente ist neben der Verlustleistung auch das Impedanzverhalten von großer Bedeutung. Dafür sind am Fachgebiet Impedanz-Analyser, LCR-Meter und Network-Analyser vorhanden. Damit werden insbesondere die Frequenzabhängigen Impedanzen von Spulen und Kondensatoren untersucht sowie die Dämpfung von EMV Filtern unter Kleinsignal-Bedingungen.

Für eine Belastung der Komponenten unter Großsignal-Bedingungen stehen drei leistungsstarke Linearverstärker zur Verfügung. Diese werden zur elektrischen Belastung von passiven Bauteilen unter last- oder lastähnlichen Bedingungen verwendet, um z.B. Ersatzschaltbildparameter, Verluste oder Temperaturanstiege der Bauelemente zu bestimmen.



Statische Halbleiter-Charakterisierung in einer Schaltzelle.
Static semiconductor characterization in a switching cell.

The knowledge of the behaviour and characteristic of electric components is significant for the design of power electronic converters. The department EVS features a wide spectrum of measurement equipment for the electrical characterisation of electric components.

Conduction and switching loss of semiconductor devices and modules are measured using a switching cell. The automatization of the measurement setup enables a comfortable acquirement of power loss data dependent on current, voltage, temperature, gate-voltage and resistance. The evaluation of the static semiconductor parameters is performed by means of a two channel source-meter and an appropriate high voltage source. The source meter enables precise measurement of blocking, gate and forward characteristic of the semiconductor under test.

For passive components power loss evaluation and impedance measurement is of importance. The department possess impedance analysers, LCR meters and network analysers. These devices enable the measurement of frequency dependent impedance values of inductors and capacitors as well as the attenuation of EMI filter circuits under small signal conditions.

Component tests under load conditions are possible as well. At least three linear amplifiers enable the investigation of passive components under load conditions. E.g. evaluation of equivalent circuit parameters, power loss or temperature rise is possible.

Ansprechpartner

DR.-ING. THIEMO KLEEB (EVS), CHRISTIAN FELGEMACHER, M.ENG. (EVS)

Titel

**LABORINFRASTRUKTUR: THERMISCHE
CHARAKTERISIERUNG VON KOMPONENTEN**

title

**LABORATORY EQUIPMENT: THERMAL
CHARACTERISATION OF COMPONENTS**

Das Fachgebiet EVS verfügt über eine umfangreiche Laborausstattung, welche eine detaillierte thermische Charakterisierung von elektrischen Komponenten, Schaltgruppen und ganzen Schaltungen ermöglicht.

The department EVS possesses a comprehensive spectrum of laboratory equipment for detailed thermal characterisation of electronic components, modules and circuits.



Module mit eingebetteten SiC JFETs im Klimaschrank zur Durchführung von H3TRB Test.

Modules with embedded SiC JFETs placed in test chamber for H3TRB test.

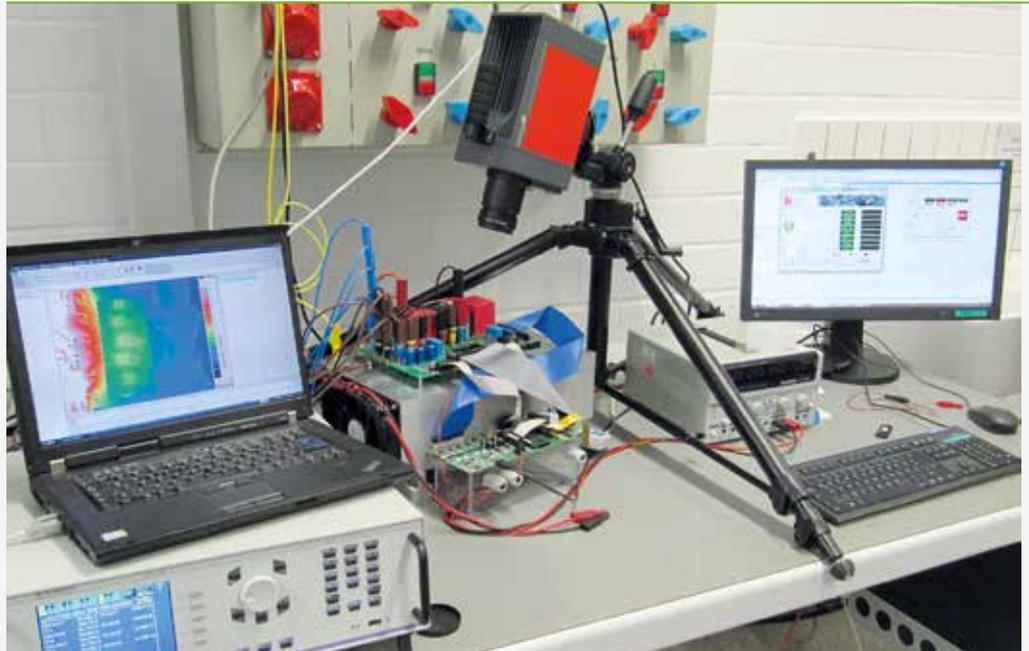
Ein hochdynamisches Thermographie-System ermöglicht die Messung von Temperaturverteilungen mit hoher zeitlicher Auflösung. Hiermit lassen sich sowohl lokale Temperaturmaxima auf Platinen, Bauteilen oder ganzen Schaltungen ermitteln als auch die zeitliche Veränderung von Temperaturen darstellen um Wechselbelastungen zu quantifizieren. Die Identifizierung von lokalen Temperaturmaxima von Bauelementen ermöglicht z.B. die Entwicklung gezielter Verbesserungen bei der Kühlung oder Benchmarks verschiedener Komponenten, da die Messungen direkt unter Anwendungsbedingungen durchgeführt werden können.

A highly dynamic thermographic system enables the measurement of temperature distribution with high chronological resolution. This enables the measurement of local hot spot temperatures on PCB's, components or complete circuits. The time variant temperature changes can be displayed as well. This allows evaluation of variation in stress of components. The identification of local temperature maxima allows the improvement of cooling methods of components. The operation of the components under application conditions enables benchmarking of different components and technologies.

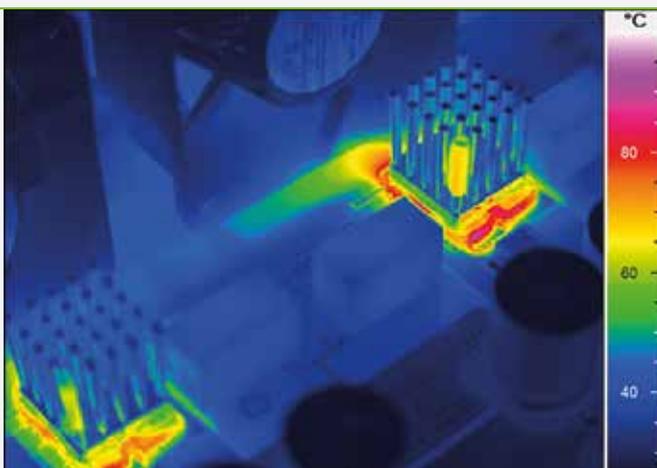
Zur Untersuchung von thermischen Zyklen oder Langzeitbelastungen steht ein moderner Klimaschrank zur Verfügung. Einzelne Bauelemente oder ganze Schaltgruppen können hierin auf Ihr Verhalten bei besonderen klimatischen Gegebenheiten wie z.B. hoher oder niedriger Umgebungstemperaturen (-40 bis 180°C) oder hoher Luftfeuchtigkeit untersucht werden. Die hohe Temperaturänderungsgeschwindigkeit des Systems (20 K/min) ermöglicht außerdem Temperaturwechseltests durchzuführen. Somit können nicht nur Bauteile auf Ihre Eigenschaften bei bestimmten Klimabedingungen untersucht werden, sondern auch Untersuchungen bezüglich der

The investigation of thermal cycles or long-term load can be performed by means of a climate cabinet. Components or circuits can be investigated under specified climatic properties like high or low ambient temperatures (-40 to +180°C) or high humidity. The possibility of high temperature changes (20 K/min) enables temperature cycling tests. Beside the investigation of components under specified climatic conditions, further investigations regarding degradation caused by temperature cycling, humidity (e.g. H3TRB test) or high temperatures are possible as well. The evaluation of such experiments enables conclusions regarding

Degradation durch Temperaturwechsel, Feuchte (z.B. H3TRB Test) oder hohe Temperaturen durchgeführt werden. Dadurch können z.B. Rückschlüsse auf den Einsatz der Bauelemente in rauen Umgebungsbedingungen oder auf deren zu erwartende Lebensdauer gezogen werden.



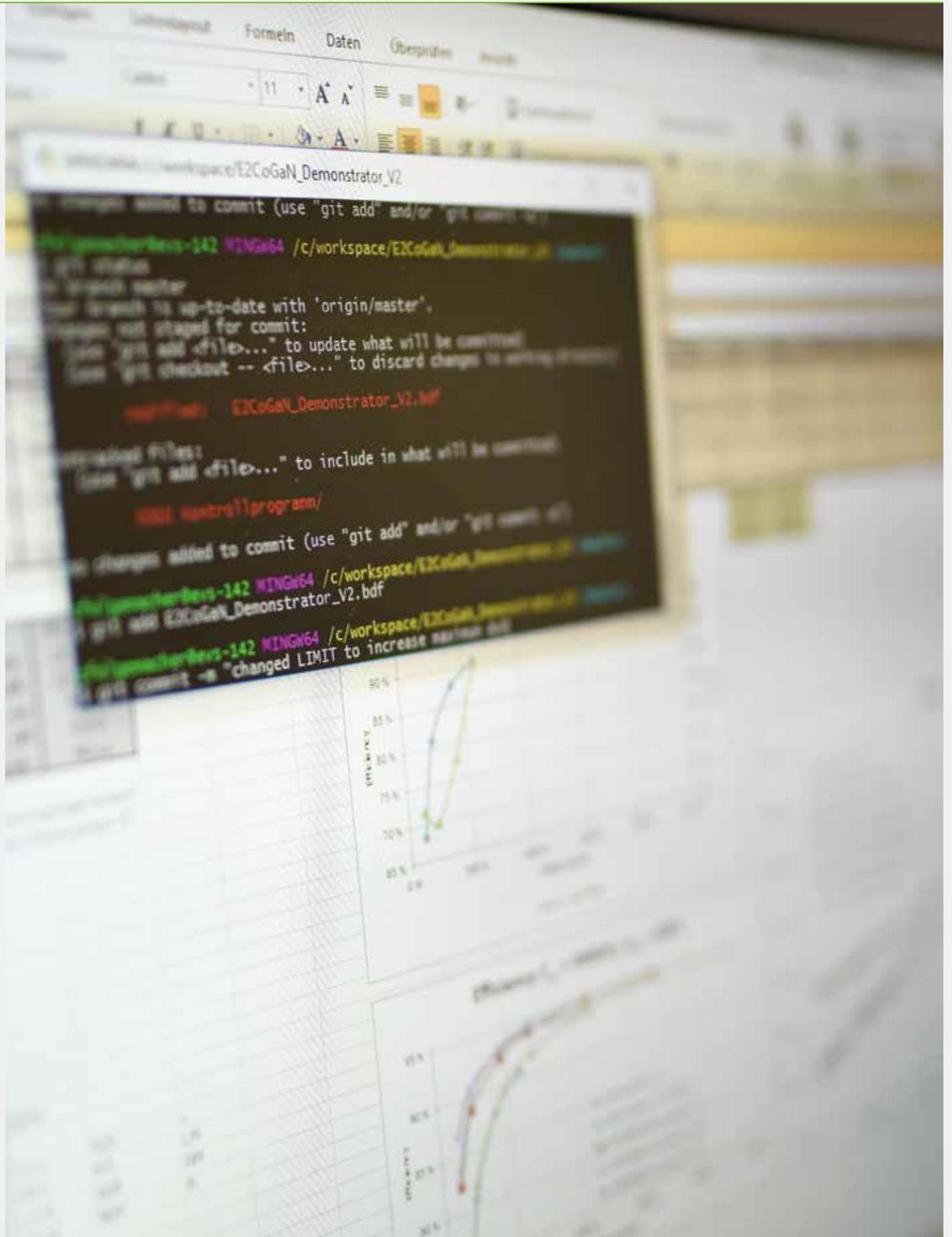
Durchführung thermographischer Messungen an einem Laboraufbau.
Realisation of thermographic measurements on a laboratory set up.



Thermografisches Bild einer leistungselektronischen Platine im Betrieb.
Thermographic image of power electronic circuit board in operation.

operation behaviour of the components under rough environments or expected lifetimes.

Furthermore, the department possesses a calorimetric measurement setup for power loss evaluation of electric components and circuits under realistic application conditions. In comparison to electric measurements, calorimetric (heat quantity based) measurement methods can enable improved accuracy if components or circuits with very high efficiency values (>99%), thus minimum power loss, are under investigation.



²
en

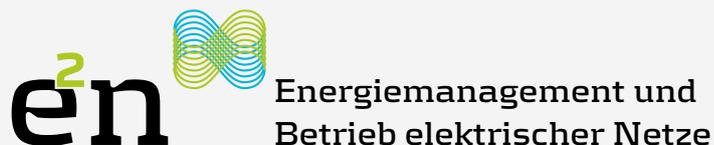


Energiemanagement und
Betrieb elektrischer Netze

Ansprechpartner
PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel
**DAS FACHGEBIET ENERGIEMANAGEMENT
UND BETRIEB ELEKTRISCHER NETZE (e²n)**

title
**DEPARTMENT OF ENERGY MANAGEMENT
AND POWER SYSTEM OPERATION (e²n)**



Das Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n) wurde im September 2012 im Fachbereich Elektrotechnik / Informatik gegründet. Das Fachgebiet vertritt als Teil des KDEE und in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IWES die Forschung und Lehre für das weite Gebiet der elektrischen Netze. Hierbei wird die technisch und wirtschaftlich optimierte Auslegung, Regelung und Betriebsführung des zukünftigen dezentralen Energieversorgungssystems (Smart Grid) mit hohem Anteil erneuerbarer Energien als wichtige Herausforderung der Energiewende zur Sicherstellung einer sicheren, kosteneffizienten und nachhaltigen Energieversorgung betrachtet.

Wesentliche inhaltliche Schwerpunkte sind technisch-wirtschaftlich optimierte Konzepte und Verfahren für die Analyse, Auslegung, Regelung und Betriebsführung von elektrischen Netzen insbesondere:

- Regelung und Auslegung von Erzeugern, Verbrauchern, Speichern und Netzbetriebsmitteln zur Bereitstellung von Energie- und Netzdienstleistungen
- Verfahren für Energie- und Netzmanagement / Automatisierungslösungen in dezentralen Versorgungsstrukturen mit verschiedenen Aggregations- und Anreizkonzepten
- Verfahren für automatisierte Netzplanung / optimiertes Systemdesign
- Lösungen für robustes Systemverhalten im Fehlerfall und für den Netzwiederaufbau

The Department of Energy-Management and Power System Operation (e²n) was founded in September 2012. As part of KDEE and in close cooperation with the Fraunhofer IWES the department's focus in teaching and research is on the technically and economically optimized design and control of the future decentralized energy supply system (smart grid) with a high percentage of renewable energies to guarantee a secure, cost-efficient and sustainable energy supply.

The main focus is on technically and economically optimized concepts and approaches for the analysis, design and operation of distribution systems, especially:

- *Control and coordination of power sources, loads, storage and grid management tools for the provision of energy and ancillary services*
- *Approaches for energy and system management / automated solutions for decentralized supply structures with different concepts such as aggregation and incentive-based strategies*
- *Concepts for automated grid planning / optimal system design*
- *Solutions for robust system response in case of failure and for grid reconstruction*

An important methodical emphasis lies on the development of methods for modelling and simulations, which allows the analysis and characterization of these systems at different time scales and system levels, as well as multi-objective optimization of the design and operation of power systems.

Das Fachgebiet bietet folgende Lehrveranstaltungen an:
The following courses are offered by the department:



Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
 Leiter des Fachgebiets e²n
 Abteilungsleiter Betrieb
 Verteilungsnetze am Fraunhofer IWES

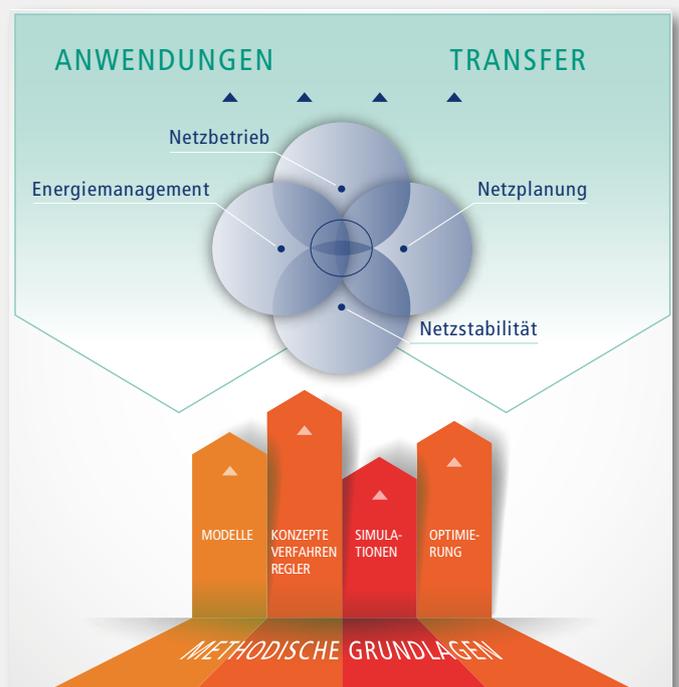
▪ Berechnung elektrischer Netze	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Planung und Betriebsführung elektrischer Netze	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Intelligente Stromnetze	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Energiewandlungsverfahren	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Photovoltaik Systemtechnik (Teil 1 und 2)	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Power System Dynamics	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Energiemanagement in Gebäuden	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun und Mitarbeiter des Fraunhofer IWES
▪ Seminar Intelligente Stromnetze	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Softwarepraktikum Netzsimulation	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ Praktikum Photovoltaik	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun und Dipl.-Ing. Bernd Gruß
▪ Energietechnisches Praktikum I/II (PV-Batterie-Systeme im Insel- und Netzparallelbetrieb)	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun und Dipl.-Ing. Bernd Gruß

Wesentliche methodische Schwerpunkte sind dabei die Entwicklung von Methoden zur Modellbildung und Simulation zur Analyse und Beschreibung des Systems in allen Zeitskalen und Systemebenen sowie die multikriterielle Optimierung der Auslegung, Regelung und Betriebsführung (inkl. Methoden der Komplexitätsreduktion).

Das Fachgebiet ist Teil des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) und durch personelle Verknüpfungen eng mit dem Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) am Standort Kassel verbunden. Die Zusammenarbeit basiert unter anderem auf gemeinsam betreuten studentischen Abschlussarbeiten und Promotionen, Angebot von Lehrveranstaltungen durch Fraunhofer-Wissenschaftler, Forschungsprojekten und der gegenseitigen Bereitstellung von Infrastruktur. Damit können ausgezeichnete Forschungsmöglichkeiten und breitgefächerte Lehrveranstaltungen angeboten werden.

The department is part of the Centre of Competence for Distributed Power Technology (KDEE) and cooperates closely with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology IWES in Kassel. The collaboration includes jointly supervised theses (Bachelor, Master, PhD), courses offered by Fraunhofer-scientists, research projects and the mutual provision of infrastructure. Thereby, excellent research opportunities as well as a wide variety of courses can be offered.

Forschungsprogramm e²n
 Research program e²n



Ansprechpartner

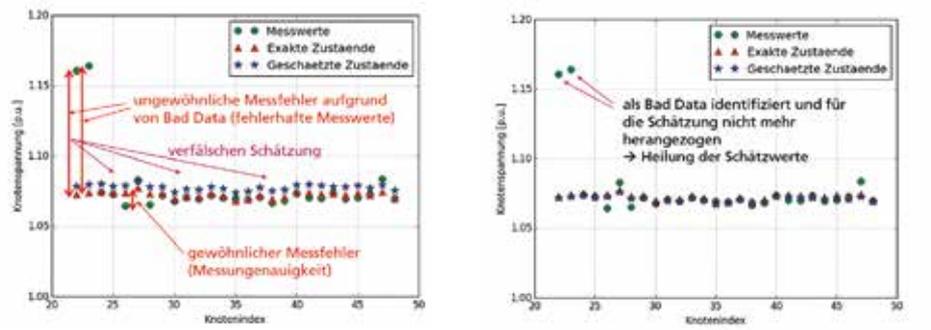
DR.-ING. NILS BORNHORST, PRIYANKA CHAUDHARI, M.SC. (e²n)

Titel

SysDL 2.0: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN AUS FLÄCHENVERTEILNETZEN.

title

SysDL 2.0: SYSTEM ANCILLARY SERVICES FROM DISTRIBUTION GRIDS.



Links: Zustandsschätzung: Identifizierung von Bad Data.

Left: State Estimation: Identification of Bad Data.

Rechts: Zustandsschätzung: Ergebnis nach der Entfernung von Bad Data und erneuter Schätzung.

Right: State Estimation: Result after Removal of Bad Data and repeated estimation.

Aktuelle Schwerpunkte von e²n: Implementierung einer Zustandsschätzung, Auswahl eines Optimierungsalgorithmus und Erstellung von Testszenarien

Im Zentrum des Projekts SysDL 2.0 steht die Entwicklung eines innovativen Betriebsführungsmoduls, das die Blindleistungseinspeisung von dezentralen Erzeugungsanlagen, wie Windkraft- und PV-Anlagen, optimiert. Diese Optimierung wird eingesetzt, um verschiedene Zielsetzungen aus unterschiedlichen Anwendungsfällen im Bereich der Systemdienstleistungen zu erreichen, bspw. Spannungshaltung, Blindleistungsbereitstellung, etc. Grundvoraussetzung für die Optimierung ist die exakte Kenntnis des Netzzustandes. Dafür wurde vom Fachgebiet e²n eine Zustandsschätzung implementiert, die sowohl kleine Messfehler korrigiert als auch gravierend fehlerhafte Messwerte identifiziert und durch geschätzte Werte ersetzt (siehe Grafik). Darüber hinaus war das Fachgebiet e²n maßgeblich beteiligt an der Auswahl eines geeigneten Optimierungsalgorithmus insbesondere im Hinblick auf die Echtzeitfähigkeit dieses Algorithmus'. Da die Betriebsführung nicht nur in Simulationen getestet, sondern auch in einem Feldtest eingesetzt werden soll, ist die Echtzeitfähigkeit entscheidend. Nach abgeschlossener Entwicklung des Betriebsführungsmoduls musste dieses ausgiebig getestet werden, um die Funktionstüchtigkeit im Feldtest zu gewährleisten. Dazu hat das Fachgebiet e²n umfassende Testszenarien konzipiert und umgesetzt. Derzeit befasst sich das Fachgebiet e²n in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWES mit Echtzeitsimulationstests, die auf den Testszenarien aufbauen. Das Betriebsführungsmodul soll im Rahmen des Feldtests bei den Verteilnetzbetreibern MITNETZ Strom und ENSO Netz in Betrieb gehen. Neben diesen beiden Verteilnetzbetreibern kooperiert das Fachgebiet e²n in diesem Projekt mit dem Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz, der TU Dresden sowie weiteren Partnern aus der Industrie. Weitere Informationen zu SysDL 2.0 unter www.sysdl20.de.

Current focus of e²n: Implementation of a State Estimation, Choice of an Optimisation Algorithm, and Generation of Testing Scenarios

The main goal of the project SysDL 2.0 is the development of a grid operation module that optimizes the reactive power feed-in of distributed generators such as wind turbines and PV modules. This optimisation is used to solve different problems from various use cases in the area of system ancillary services such as, voltage control, reactive power provision, etc. A prerequisite for the optimisation is the knowledge of the exact system state. For this, a state estimation has been implemented by the department e²n which corrects small measurement errors as well as identifies bad data and replaces it by estimated values (see Figure). Furthermore, the department e²n played a key role in the choice of an appropriate optimisation algorithm, especially regarding the real time capability of this algorithm. Since the grid operation shall not only be tested in simulations but also be deployed in a field test, real time capability is crucial. After the development of the grid operation module was finalised, it had to be thoroughly tested to guarantee its error-free functionality in the field test. For this, the department e²n has designed and generated comprehensive testing scenarios. To date, the department e²n prepares and performs real time simulation tests, which are based on the testing scenarios, in cooperation with Fraunhofer IWES. Within the scope of the field test, the grid operation module is supposed to go into operation at the distribution system operators MITNETZ Strom and ENSO Netz. In addition to these two distribution system operators, the department e²n cooperates within this project with the transmission system operator 50 Hertz, with the TU Dresden, and further industry partners. For further information on SysDL 2.0, please visit www.sysdl20.de.

Gefördert durch:



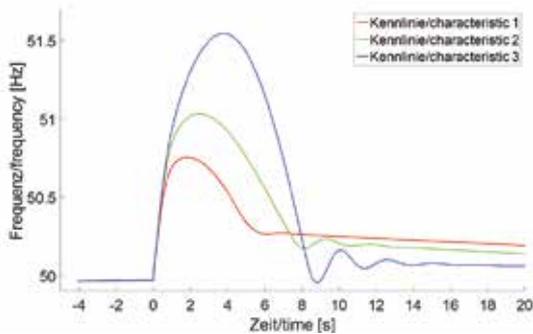
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0325744H

Ansprechpartner

DIPL.-ING. CHRISTIAN HACHMANN, DR.-ING. DARIÓ LAFFERTE, DIPL.-ING. TINA PASCHEDAG (e²n)

Titel

NETZ:KRAFT

Verlauf der Netzfrequenz bei einem Lastabwurf mit unterschiedlichen Betriebsweisen erneuerbarer Erzeugung.

Electrical frequency after load shedding with different settings of renewable generation.

Netzwiederaufbau mit zukünftigen Kraftwerksstrukturen

Im Rahmen des Forschungsprojekts NETZ:KRAFT untersucht das Fachgebiet e²n die Chancen und Herausforderungen, die sich für den Netzwiederaufbau nach Großstörungen (Blackouts) aus der zunehmenden Verbreitung dezentraler erneuerbarer Erzeugung ergeben. Schwerpunkt ist der Aufbau und Betrieb von Verteilnetzinseln.

Am Fachgebiet e²n werden in Zusammenarbeit mit Verteilnetzbetreibern Fallstudien durchgeführt, die existierende Netze, Kraftwerks- und Verbrauchsstrukturen sowie mögliche Zukunftsszenarien abbilden. Zu diesem Zweck wurden im bisherigen Projektverlauf Anforderungen und Grenzen der Simulationsstudien definiert und Simulationsmodelle für die verschiedenen Typen der Erzeugungsanlagen sowie Netzäquivalente erstellt. Basierend darauf wurde der Einfluss verschiedener Betriebsweisen dezentraler Erzeugungsanlagen in Form von unterschiedlichen Wirkleistungs-Frequenz-Kennlinien auf die Frequenzhaltung einer kleinen Netzinsel (beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt) untersucht.

Im weiteren Verlauf werden für unterschiedliche Erzeugungs-, Last- und Ausbausituationen jeweils der Einfluss von Einstellungen und Betriebsweisen erneuerbarer Erzeugungsanlagen untersucht. Zur Durchführung dieser Untersuchungen wird die Simulation der jeweils relevanten Abläufe beim Netzwiederaufbau möglichst weitgehend automatisiert. Dabei sollen insbesondere auch die in Netzleitwarten getroffenen Entscheidungen nachgebildet werden, um die Untersuchung einer großen Anzahl an Varianten zu ermöglichen. Auf diese Weise können Aussagen über den Umfang, Zeitdauer und Zuverlässigkeit getroffen werden, mit denen ein Netzwiederaufbau unter den jeweiligen Rahmenbedingungen gelingt.

Power System Restoration with a Future Power Plant Park

In the project NETZ:KRAFT, the department e²n is researching the opportunities and challenges that arise from the increasing penetration of decentral renewable energy resources for power system restoration following a large grid disruption (Blackout). The main focus is the formation and operation of island grids within the distribution system.

In collaboration with distribution network operators, case studies are designed that represent existing grids, plants and consumption profiles as well as possible future scenarios. For this purpose, requirements and limitations for the investigation have been defined. According to the requirements, simulation models for the relevant generation units have been implemented. In addition, distribution system equivalents have been developed to represent the combined behaviour of distributed generation and load. Based on these models, the influence of different operation strategies for distributed renewables on the operation of a small island grid was investigated. The figure shows three exemplary curves of different frequency-time-series arising from different active-power-frequency-characteristics of distributed renewables.

The influence of parameter settings and operation modes of distributed energy units is investigated for a set of generation-, load- and penetration-scenarios. In order to run a large number of simulations, a high level of automation is pursued. This includes an automated representation of decisions made by operators in the control centre during power system restoration. In this way many variants can be simulated to allow conclusions on the extent, duration and reliability of power system restoration under a given set of assumptions.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0325776J**

<http://forschung-stromnetze.info/projekte/netzwiederaufbau-mit-zukuenftigen-kraftwerkstrukturen>

Ansprechpartner

DIPL.-PHYS. ELISABETH DRAYER (e²n)

Titel

**FELDTTEST EINER DEZENTRALEN NETZ-
BETRIEBSFÜHRUNG**

title

**FIELD TEST OF A DECENTRAL GRID
OPERATION**

Das letzte Jahr der Laufzeit des europäischen Projektes DREAM stand ganz unter dem Zeichen des Feldtests. Dazu kooperierte das Fachgebiet e²n mit dem elsässischen Netzbetreiber Électricité de Strasbourg – Réseaux. Für den Betrieb des Verteilungsnetzes der Zukunft wurden im oben genannten Projekt neue Ansätze und Methoden entwickelt. Diese Ansätze konzentrieren sich auf drei neue Funktionen: die Analyse des Netzzustandes, die Optimierung des

The last year of the European project DREAM was dedicated to the field test. For this, the department e²n collaborated with the distribution system operator (DSO) Électricité de Strasbourg – Réseaux from the Alsace. In the above mentioned project, new approaches have been developed to operate the distribution grid of the future. These approaches focus on three functionalities: analysis of the grid state, optimization of the operation and self-



Zwei Ladesäulen mit vier Elektroautos.
Two charging stations with four electric vehicles.



Graphische Schnittstelle des DREAM-Projekts läuft parallel zum klassischen SCADA-System. | *Graphical interface for the DREAM project running in parallel to the classic SCADA system.*

Netzbetriebs und die Selbstheilung des Netzes nach einem Fehler. Diese neuen Funktionen wurden zuerst ausgiebig in Simulationen getestet. Der nächste Schritt in Richtung einer industriellen Umsetzung war es dann, damit in den Feldtest zu gehen.

healing after fault. These functionalities have been developed and firstly tested in simulation. The next step towards an actual industry implementation was to go for real time field tests.

Dazu wurde ein Teilgebiet, bestehend aus vier Umspannwerken eines 20 kV Verteilungsnetzes, ausgewählt. Die notwendigen Softwareentwicklungen bestanden hauptsächlich in der Entwicklung von Anwendungen, die auf unterschiedlicher Hardware, unter anderem Remote Terminal Units (RTUs), ausgeführt werden konnten. Diese RTUs mit zusätzlicher Software wurden im Netzgebiet installiert. Der Feldtest beinhaltete außerdem eine PV-Anlage mit einer Leistung von 224 kW/peak und zwei Schnellladesäulen für Elektroautos. Eine geeignete Schnittstelle für die Überwachung und Durchführung der Experimente wurde ebenfalls entwickelt. Während der Testphasen lief diese parallel zum regulären SCADA-System des Netzbetreibers.

For this, a 20kV distribution grid area, including four primary substations, was chosen. The required developments concerning the software consisted mainly in writing code that could run on different platforms like modern industry Remote Terminal Units (RTUs). These RTUs, equipped with advanced software, were installed in the considered grid area. Furthermore, the test included one PV-system of 224 kW/peak and two fast charging stations. A dedicated interface for the supervision and control of the experimental operation was proposed. During the test period it was running in parallel with the actual SCADA system of the DSO.



Gefördert durch die Europäische Kommission unter dem FP7 Förderkennzeichen 609359.

Ansprechpartner

LEONTHURNER, M.SC. (e²n)

Titel

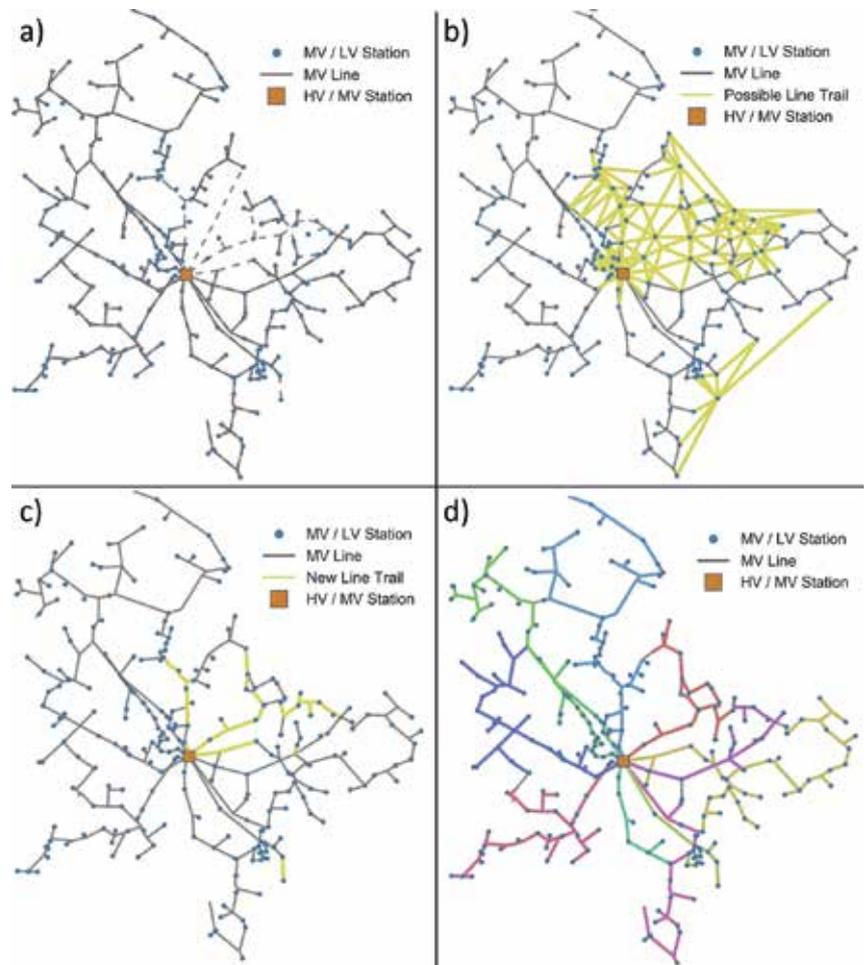
**ANaPLAN – AUTOMATISIERTE NETZAUSBAU-
PLANUNG IM VERTEILNETZ**

title

ANaPLAN

a) Ausgangsnetzstruktur mit zu entfernenden Leitungen (gestrichelt), b) potentielle Leitungen, die für die neue Netzstruktur berücksichtigt werden, c) optimierte Netzstruktur, d) radiale Abgangskonfiguration in optimierter Netzstruktur.

a) Initial network with lines to remove (dotted), b) potential line trails considered for the new network structure, c) optimized network structure, d) radial feeder sectioning in optimized network structure.



Elektrische Verteilnetze können bei zunehmender Last- oder Erzeugungsleistung erweitert, verstärkt oder umstrukturiert werden (Netzausbau). Zudem entsteht aufgrund des Alters bzw. Zustands einzelner Betriebsmittel auch ein Ersatzbedarf, der im Asset-Management koordiniert wird. Das Projekt ANaPlan zielt darauf ab, die Abhängigkeiten zwischen Netzausbau und Asset-Management anhand eines automatisierten Netzausbauplanungsansatzes zu untersuchen. Die Abbildung zeigt das Beispiel einer Topologieoptimierung eines 10 kV Netzes des Verteilnetzbetreibers Westnetz GmbH. Die aufgrund ihres Alters zu erneuernden Leitungen sind in a) gestrichelt dargestellt, die als potentielle neue Leitungstrassen berücksichtigten Leitungen sind in b) dargestellt. Mit einer heuristischen Optimierung wird eine neue Netzstruktur gesucht, die bei einer minimalen Kabellänge sowohl alle topologischen (radiale Netzstruktur, n-1 Anbindung für Stationen) als auch alle betrieblichen (Spannungsband, maximale Leitungsauslastungen) Randbedingungen erfüllt. Die beste von der Optimierung gefundene Lösung ist in c) abgebildet, die radiale Netzstruktur ist in d) visualisiert. Während ein Ersatz in den alten Trassen ca. 31 km Kabel benötigt hätte, kommt die optimierte Netzstruktur mit nur ca. 25 neuen Kabelkilometern aus.

Electric distribution systems are reinforced or restructured due to load and generation expansion or due to the condition of aged assets that have to be replaced. The project ANaPlan aims at analysing the interdependencies between network expansion and asset management in an automated approach to network planning. The figure shows an example of a topology optimisation in a 10 kV network of the DSO Westnetz GmbH. The lines that have to be renewed due to old age in the target network are shown as dashed lines in subplot a). The possible new line trails that are considered in the optimization are shown in subplot b). A heuristic optimisation is used to find a new network topology that requires a minimum amount of cabling while complying with all topological (radial network structure, contingency junctions) and operational (voltage band, maximum line loading) constraints. The best solution that is found by the optimisation can be seen in subplot c). The feeder configuration in subplot d) shows the radial segmentation of the network. While a renewal of the old line trails would have resulted in about 31 km of new cables, the optimized network structure leads to about 25 km of new line trails.

Gefördert durch:



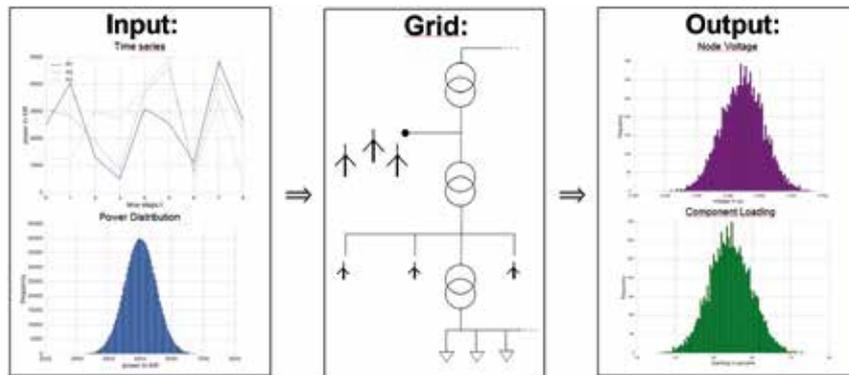
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0325923B**

Ansprechpartner
BASTIAN JUNKER, M.SC. (e²n)

Titel
**PrIME – PROBABILISTISCHE INNOVATIVE
METHODEN IN DER ENERGIESYSTEMTECHNIK**

title
**PrIME – PROBABILISTIC INNOVATIVE
METHODS FOR ENERGY SYSTEM
TECHNOLOGIES**



Schema einer probabilistischen Lastflusssimulation.
Scheme of a probabilistic load flow analysis.

Viele der Aufgabenstellungen in der Energiesystemtechnik beruhen im Kern auf probabilistischen Problemstellungen. Diese können häufig vereinfachend durch Annäherung über deterministische Betrachtungen (Mittelwert oder Worst Case) gelöst werden. In einigen Aufgabenstellungen lohnt es jedoch, den gesamten probabilistischen Problemraum zu untersuchen. In PrIME wurden dafür von der Universität Kassel (Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze und Intelligent Embedded Systems) und dem Fraunhofer IWES unterschiedliche Anwendungsfälle definiert, analysiert und Umsetzungen entwickelt.

There are a lot of different tasks in energy system technologies which are based on probabilistic Problems. Usually these tasks are approximated by deterministic methods using mean values or worst case scenarios. In various applications, however, it is important to consider the whole probabilistic space influencing the electrical grid. In the project PrIME, the University of Kassel (Energy Management and Power System Operation and Intelligent Embedded Systems) and the Fraunhofer IWES defined several use cases to be analysed and existing methods to be enhanced.

Das Fachgebiet e²n entwickelt Algorithmen, die in der Netzplanung vor dem Hintergrund des für die Energiewende erforderlichen Netzausbaus angewendet werden können. Dabei wird untersucht, wie der Zubau von dezentralen Erzeugern und der daraus resultierende Netzausbau durch probabilistische Methoden optimiert werden kann. Der Schwerpunkt liegt auf der probabilistischen Lastflusssimulation (PLF), einer Methode zur Bestimmung aufkommender (kritischer) Netzzustände und deren Auftretenswahrscheinlichkeit. Hierbei können Leistungszeitreihen von Lasten und Erzeugern, sowie Wahrscheinlichkeitsverteilungen dieser ein- und ausgehenden Leistungen als Input verwendet werden. Ergebnis bzw. Output sind die beiden Netzstandsgrößen der Betriebsmittelauslastung und der Spannung an den Netzknoten (siehe Abbildung). Hierfür wurden bereits erste Algorithmen entwickelt, die im Laufe des Projekts erweitert und validiert werden. Um den hohen Rechenaufwand zu verringern, werden Samplingmethoden eingesetzt und die zu berechnende Netzstruktur teilweise in eine vereinfachte Form überführt. Hierbei sollte ein optimales Verhältnis zwischen Berechnungsaufwand und Genauigkeit der Ergebnisse erreicht werden, welches durch den Anwender selbst eingestellt werden kann.

The department e²n is developing algorithms for probabilistic planning of power systems due to the increasing number of distributed energy resources (DER). Subject of the research is to improve and develop methods using probabilistic input focusing on the probabilistic load flow (PLF). The PLF is a method to determine (critical) grid states and their probability of occurrence. Time series of loads and DERs as well as the probability distribution of the power fed-in or consumed is used as input data. The results or, in other words, output data are the two state variables, node voltage and loading of the grid components (see figure below). First algorithms have been developed and will be enhanced and validated during the ongoing project. To reduce the high computation time, sampling methods were introduced. Furthermore, the structure of the grid analysed can be simplified partially. The balance between reducing calculation time and receiving accurate results is analysed.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem
Förderkennzeichen 03EK3536A**

Ansprechpartner

STEFFEN MEINECKE, M.SC. (e²n)

Titel

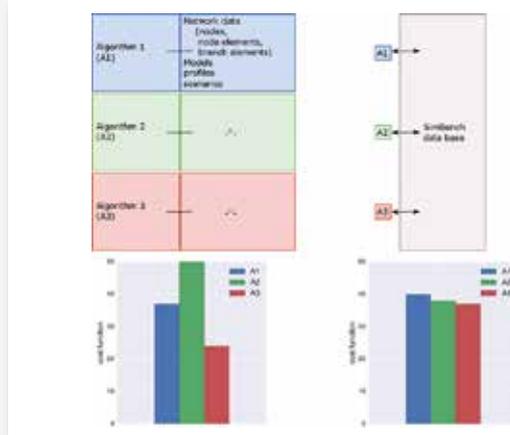
SIMBENCH**Simulationsdatenbasis zum einheitlichen Vergleich von innovativen Lösungen im Bereich der Netzanalyse, Netzplanung und -betriebsführung**

Die Entwicklung von Lösungen und Algorithmen zur Verbesserung heutiger Netzanalyse, Netzplanung und Netzbetriebsführung kann häufig nicht sinnvollerweise unabhängig von vertraulichen Netzdaten von Netzbetreibern durchgeführt werden. Aufgrund der Vertraulichkeit der Netzdaten und folglich der Ergebnisse dürfen diese nur eingeschränkt veröffentlicht werden, sodass eine Reproduzierbarkeit nicht gewährleistet ist. Außerdem ist durch netzspezifische Lösungen die Vergleichbarkeit und Transparenz eingeschränkt.

Hauptziel des SimBench-Projekts ist die Entwicklung eines Benchmark-Datensatzes für Lösungen definierter Anwendungsfälle im Bereich der Netzanalyse, Netzplanung und Netzbetriebsführung. Durch eine öffentliche Bereitstellung des Benchmark-Datensatzes soll die Entwicklung solcher Lösungen unabhängig von Netzbetreibern möglich werden und zugleich eine Vergleichbarkeit verschiedener Entwicklungen auf diesen Gebieten gewährleistet werden. Die fiktive Gegenüberstellung (siehe Abbildung) eines Vergleichs verschiedener Algorithmen auf Basis ungleicher (links) oder gleicher Datengrundlage, beispielsweise mit Hilfe von SimBench, (rechts) verdeutlicht die fehlende Belastbarkeit der linken Vergleichsergebnisse. Durch eine Evaluierung der Anwendbarkeit des SimBench-Datensatzes und mithilfe eines Abgleichs realer Netzdaten kann die Relevanz des Datensatzes sichergestellt werden. Eine zugrundeliegende Methodik garantiert die Transparenz des Vorhabens und ermöglicht eine Erweiterbarkeit der Ergebnisse für die Zukunft. Außerdem ist eine Prüfung der Übertragbarkeit der Methoden auf Gas- oder Wärmenetze durch das Fraunhofer IWES vorgesehen.

Das Projekt wird in enger Kooperation mit den Konsortialpartnern IAEW der RWTH Aachen (Prof. Moser), ie3 der TU Dortmund (Prof. Rehtanz) und Fraunhofer IWES bearbeitet. Zudem wird derzeit ein Industriearbeitskreis aufgebaut, dem sich bereits vier namhafte deutsche Verteilnetzbetreiber angeschlossen haben. Im bisherigen Projektverlauf sind bereits ein umfangreicher Anwendungsfallkatalog, eine neutrale Datenbankstruktur und eine allgemeine Methodik zur Generierung des angestrebten Benchmark-Datensatzes entstanden.

Vergleich dreier Algorithmen mit unterschiedlicher und gleicher (SimBench) Datengrundlage.
Comparison of three Algorithms based on unequal and equal (SimBench) data basis.

**Simulation data basis for a uniform comparison of innovative solutions in the field of network analysis, network planning and network operation**

Developments of solutions and algorithms to improve today's network analysis, network planning and network operation often dependent on confidential network operator data. Due to this confidentiality, network data and results based on this data is not completely publishable, esp. not reproducible. In addition, network-specific solutions of non-public network data create a lack of comparability and transparency.

The main goal of the SimBench project is the development of a benchmark data set for solutions for defined use cases in the field of network analysis, network planning and network operation. By publishing the benchmark data set, the development of such solutions is able to be independent of network operators while the comparability of different developments in these use cases is ensured. The fictitious comparisons (see Figure) of different algorithms with unequal (left) or equal (right) data basis, for example by using the SimBench data basis, illustrates the lack of resilience of the left comparison results. By evaluating the applicability of the SimBench data set as well as comparing the data set to real network data, the relevance of the data set can be ensured. An underlying methodology assures the transparency of the project and allows the results to be expanded in the future. In addition, an examination of the transferability of the methods to gas and district heating networks is intended by Fraunhofer IWES. In this project, the research group e²n is working in close cooperation with the consortia partners IAEW of RWTH Aachen (Prof. Moser), ie3 of TU Dortmund (Prof. Rehtanz) and Fraunhofer IWES. In addition, an industry working group is to date being established which four considerable German distribution system operators have already joined.

Over the course of the project, a comprehensive use case catalogue, a neutral database structure and a general methodology to generate the desired benchmark data set have been developed. These can be refined in the current process of network data generation and evaluation, taking into account the requirements that have been derived from the use cases.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0325917A**

Ansprechpartner

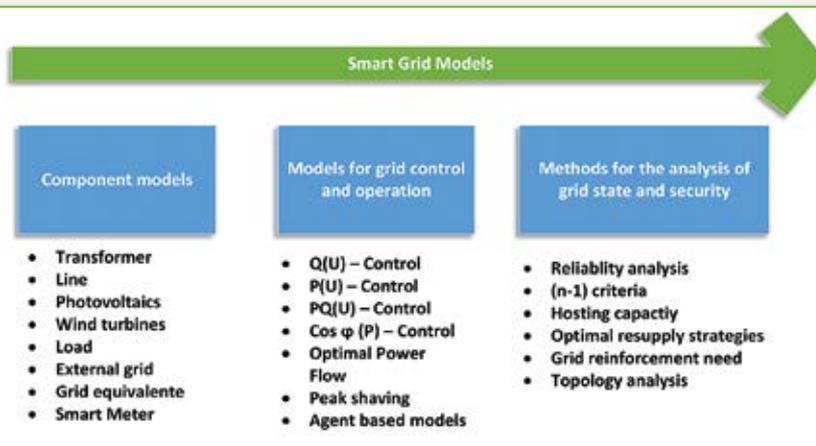
FRIEDRIKE MEIER, M.SC.; GUSTAV LAMMERT, M.SC.; DIRK FETZER, M.SC.; LEON THURNER, M.SC. (e²n)

Titel

SMARTGRIDMODELS – MODELLE UND NETZ-ANALYSEN ZUKÜNFTIGER SMART GRIDS

title

SMARTGRIDMODELS – MODELS AND GRID ANALYSIS OF FUTURE SMART GRIDS



Ergebnisse des Projektes SmartGrid-Models.
Results of the project Smart Grid Models.

Im Vorhaben „SmartGridModels“ werden verschiedene Szenarien für zukünftige Smart Grids unter Betrachtung realer Verteilnetzabschnitte eines Netzbetreibers entwickelt und untersucht. Hierzu wird eine Vielzahl von Netz- und Komponentenmodellen benötigt, u.a. Modelle für dezentrale Erzeuger und deren Regelungsverhalten. Im Rahmen des Projektes wurden bisher lokale Kennlinienregler (z.B. Q(U), P(U), ...), automatische Stufensteller für Transformatoren und auch zentrale Regler, wie z.B. eine zentrale Wirkleistungsoptimierung, implementiert. Das Kernmodul dieser Implementierung ist verfügbar als Open Source Software auf der Seite des Fachgebiets e²n. Im letzten Jahr wurden innerhalb des Projekts besonders die Bewertung und der Vergleich von Netzregelungen fokussiert. Es wurden Methoden entwickelt, um den technischen und wirtschaftlichen Nutzen einer Netzregelung bewerten zu können. Neuartige, „zentrale“ Netzregelungen bedürfen häufig hoher Investitionskosten in die Kommunikationsstruktur eines Netzes. Daher ist es notwendig, eine Kosten-Nutzen-Rechnung durchzuführen, um eine Empfehlung für eine Netzregelung geben zu können. Des Weiteren wurden im Projekt SmartGridModels Methoden zur Zuverlässigkeitsberechnung entwickelt. Diese ermöglichen es nun, optimale Wiederversorgungskonzepte eines Netzes im Fehlerfall zu bestimmen. Eine weitere Analysekomponente sind Topologie-Untersuchungen an Netzen, mit deren Hilfe Automatisierungen durchgeführt werden können, z.B. zur Bestimmung von unversorgten Netzknoten. Diese Methoden ergänzen die Bewertung von Netzregelungen bzw. Betriebsweisen um sicherheitsrelevante Aspekte wie die (n-1)-Sicherheit. Aus den genannten Analysekomponenten soll in einem weiteren Schritt eine Methodik zur Bestimmung der optimalen Betriebsweise unter sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Aspekten entstehen.

The project “SmartGridModels” is dedicated to the development and examination of scenarios for future smart grids, taking into account real distribution grid models. For this purpose, various models of electrical power grids and its components are needed, e.g. models of distributed generators and their dynamic behaviour. Within the project, some local droop controllers (such as Q(V), P(V),...) have been implemented as well as automatic transformer tap changer models. Furthermore, some central controllers, such as a coordinated active power optimization, have been developed and implemented. The core module of this implementation is now available as the open source software pandapower via the institute’s website. The last two years of the project has mainly focused on the evaluation and comparison of grid controllers. Methods have been developed to assess the technical and economic benefits of a grid controller. Novel, “central” grid controllers often require high investments into the information and communications infrastructure of an electrical grid. Therefore, it is important to conduct a cost/benefit analysis before deriving a recommendation for a certain controller. Reliability analyses enable us to determine the optimal power restoration concept after a failure. Topological searches on electrical grid models allow an automated determination of e.g. unsupplied buses. These methods complement the evaluation of grid controllers and grid operation methods with security relevant aspects like the (n-1) security. In the next step, a strategy to determine the optimal grid operation method for a certain distribution grid, with regard to security and economic aspects, will be derived from the above mentioned analysis modules.

Gefördert durch:



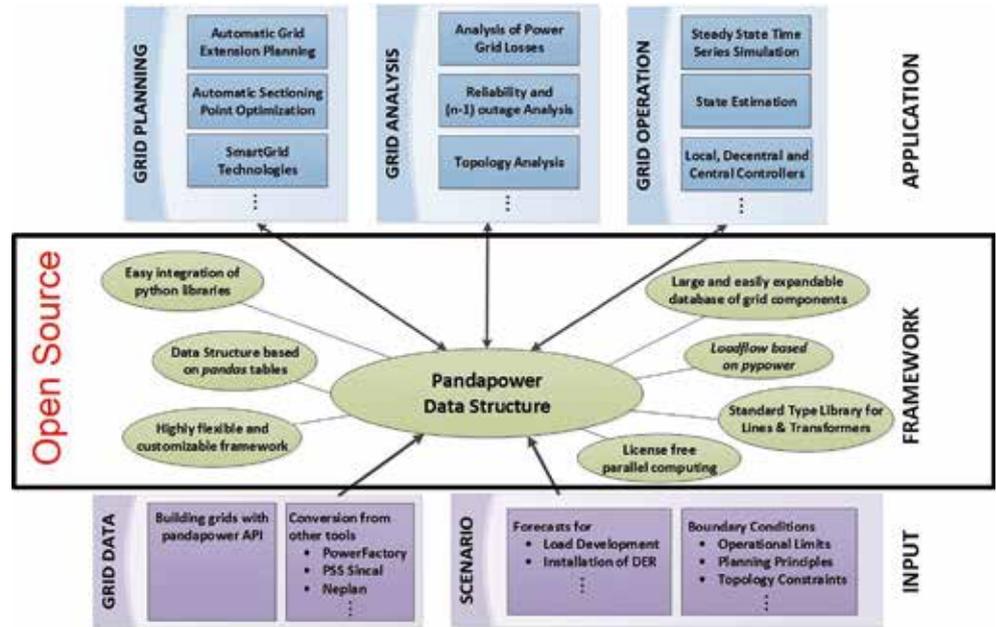
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0325616

Ansprechpartner
LEON THURNER, M.SC. (e²n)

Titel
**PANDAPOWER – OPEN SOURCE TOOL ZUR
BERECHNUNG ELEKTRISCHER NETZE**

title
**PANDAPOWER – OPEN SOURCE ELECTRIC
NETWORK CALCULATION TOOL**



Die pandapower Struktur.
The pandapower Framework.

pandapower ist ein Open Source Netzberechnungsprogramm, das am Fachgebiet e²n in Kooperation mit der Abteilung Betrieb Verteilnetze am Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Kassel entwickelt wird. Es kombiniert die Datenverarbeitungs- und -analysebibliothek pandas mit dem Lastfluss-Solver von PYPOWER zu einem nutzerfreundlichen Netzberechnungsprogramm zur automatisierten Analyse und Berechnung elektrischer Netze. Die flexible Datenstruktur erlaubt eine umfassende Modellierung und Analyse elektrischer Netze mit einem hohen Automatisierungsgrad. Im Gegensatz zu vielen anderen Open Source Netzberechnungstools basiert pandapower nicht auf einem Knoten/Kanten-Modell sondern auf elektrischen Elementen. So können Netze direkt aus elektrischen Elementen wie Leitungen, Schaltern, Generatoren, Zwei-/Dreiwicklungstransformatoren, Ward-Äquivalenten, DC-Leitungen etc. aufgebaut werden.

Zur Netzanalyse beinhaltet pandapower Schnittstellen für Lastflussberechnungen, Zustandsänderungen, Kurzschlussrechnungen und Topologiesuche. Außerdem enthält pandapower ein umfangreiches Plotting-Modul, welches das Erstellen von Strukturplänen sowie geographischen Netzplänen erlaubt. Zusätzlich zu den als Open Source Software verfügbaren pandapower Kernmodulen werden am Fachgebiet e²n in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWES vielfältige Tools in den Bereichen Netzbetrieb, -planung und -optimierung entwickelt. Diese Tools werden auf Basis der durch verschiedene Projekte und Netzbetreiber gegebenen Anforderungen stetig weiterentwickelt und fügen sich so in ein umfassendes Framework zur Netzanalyse und -optimierung ein.

pandapower is an open source network calculation tool developed at e²n in cooperation with the Department for Distribution System Operation at the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES) in Kassel. It combines the data analysis library pandas and the power flow solver of PYPOWER to create an easy to use network calculation program aimed at automation of power system analysis and optimization of electric power systems. It provides a flexible data structure for comprehensive modelling of electric power systems that allows a high degree of automation in power system analysis. In contrast to many other open source network calculation tools, pandapower is based on electric elements rather than on a bus/branch model. Networks can thus consist of elements such as lines, switches, generators, two- and three winding transformers, ward equivalents, DC lines and more.

For network analysis, pandapower provides interfaces for power flow, optimal power flow, state estimation, short-circuit calculation and topological searches. The extensive plotting module allows plotting of structural network plans as well as geographical network plans. Additionally to the open source pandapower core, a variety of different tools for network planning, optimization and operation are developed at e²n and Fraunhofer IWES based on the specific requirements of different projects and network system operators to build a comprehensive network analysis and optimization library.

Ansprechpartner

JAN-HENDRIK MENKE, M.SC., FLORIAN SCHÄFER, M.SC. (e²n)

Titel

**TEST- UND SIMULATIONSUMGEBUNG FÜR
BETRIEBSFÜHRUNGEN UND AGGREGATOREN
IM SMART GRID (OPSIM UND OPSIMEVAL)**

title

**TEST AND SIMULATION ENVIRONMENT
FOR OPERATIONAL MANAGEMENT AND
AGGREGATORS IN SMART GRIDS (OPSIM AND
OPSIMEVAL)**

Im Forschungsvorhaben „OpSim“ ist eine Test- und Simulationsumgebung für Betriebsführungen und Aggregatoren im Smart Grid mit sehr hohem Anteil erneuerbarer Energien entwickelt worden. Eine Vielzahl unterschiedlichster Komponenten kann an OpSim angebunden werden, um so deren Zusammenspiel in einer realitätsnahen Entwicklungsumgebung untersuchen zu können.

Hierbei können nicht nur unterschiedliche Arten von Teilnehmern wie Netzsimulatoren, Netzbetriebsführungen, Leitwarten-Funktionalität etc. angebunden werden. Diese können auch durch die flexible Client/Proxy-Struktur in verschiedenen Programmiersprachen wie Java, Matlab oder Python entwickelt werden.

In the project OpSim an environment for testing and simulating power system operation strategies as well as aggregators in a smart grid with a high penetration of renewable energy resources is developed. A multitude of different components can be connected to OpSim, which enables the investigation of their interactions in a realistic simulation environment. Not only different types of participants can be connected; participants can be written in different programming languages like Java, Matlab or Python.

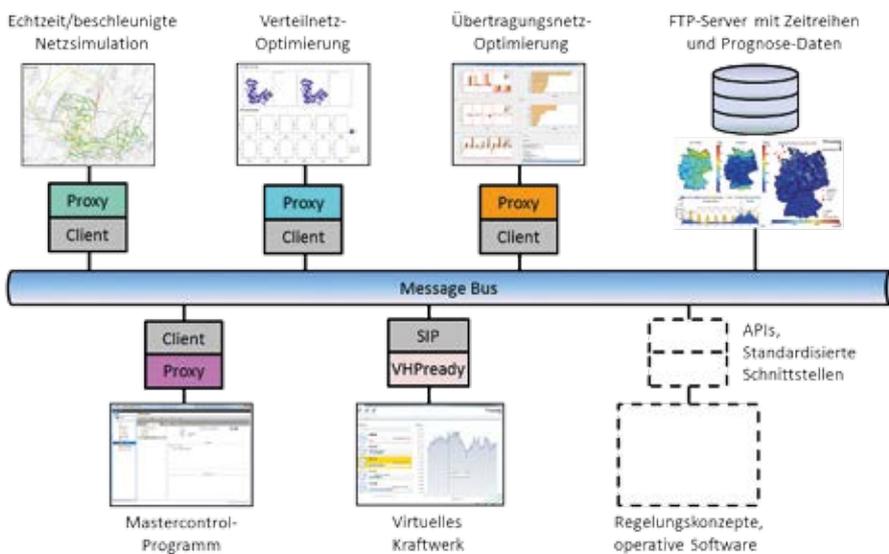
The simulation environment was developed in a strategic partnership between the department e²n and Fraunhofer IWES. In the elapsed project time, different simulations were performed: On

the side of e²n, simulations regarding state estimation and agent-based control strategies were performed. Furthermore, there is now a network control unit from industry at the department e²n, which will be connected to the OpSim system via an IEC protocol and can then be used for realistic network operation tests. This network control unit has been installed in cooperation with a considerable German network control unit manufacturer.

The successor project “OpSimEval” has also been launched. It is the aim of the project to further develop the grid simulation component of the test and simulation platform “OpSim” for calculations of accelerated year simulations. The main goal is the development of suitable methods for grid simulations, which allow a sufficient

acceleration of the simulation compared to real-time (factor 1000 to 10,000) and guarantee an acceptable accuracy, despite the necessary simplifications, at the same time. By developing efficient algorithms for the calculation of different matrices and the use of just-in-time compilers, a reduction of the computing time by over 50 percent has already been achieved. Particularly in the case of grids with a large number of nodes the speed advantage is significant.

Another project goal is the development of the integration of the test and simulation environment “OpSim” with a grid planning tool. Grid planning algorithms are investigated and concepts for the consideration of grid operations are developed as measures of grid expansion planning. In addition, an integration of grid expansion and the test and simulation environment “OpSim” takes place.



Beispielhafte Anwendung der OpSim Architektur für die Verbindung von Optimierungen zweier Netzbetreiber und einem virtuellen Kraftwerk mit einer Netzsimulation.

Exemplified overview of the OpSim architecture with two network coupled grid optimizations and a virtual power plant with a grid simulator.

Die Simulationsumgebung wurde innerhalb einer strategischen Partnerschaft zwischen dem Fachgebiet e²n und dem Fraunhofer IWES gemeinsam entwickelt. In der Projektlaufzeit wurden bei beiden Partnern zahlreiche Simulationen durchgeführt: Seitens e²n wurden Zustandsschätzungs- und agentenbasierte Regelungsverfahren mit OpSim erprobt. Des Weiteren steht am Fachgebiet eine Netzleitstelle aus der Industrie (siehe Foto), die über einen gängigen IEC-Standard an OpSim angebunden wird und somit für realitätsnahe Netzbetriebs-Tests zur Verfügung stehen wird. Diese Netzleitstelle wurde in Kooperation mit einem namhaften deutschen Leitwartenhersteller installiert.

Ebenfalls gestartet ist das Nachfolgeprojekt „OpSimEval“. Ziel des Projektes ist die Weiterentwicklung der Netzsimulationskomponen-

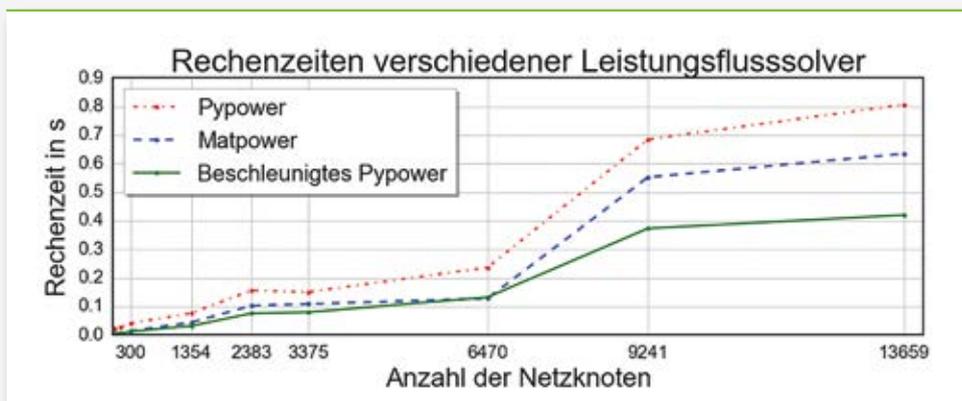


Test-Leitstelle zur Überwachung von Stromnetzen.
 Network control unit for testing the operation of power grids.

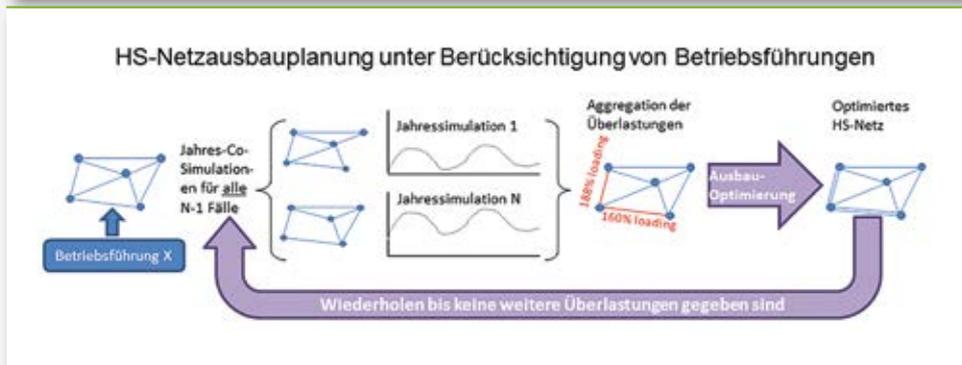
te der Test- und Simulationsplattform „OpSim“ für Berechnungen von beschleunigten Jahressimulationen. Wesentliches Ziel ist dabei die Entwicklung geeigneter Verfahren für die Netzsimulation, welche eine hinreichende Beschleunigung der Simulation gegenüber Echtzeit (Faktor 1000 bis 10.000) erlauben, aber trotz der dafür ggf. notwendigen Vereinfachungen eine akzeptable Genauigkeit aufweisen. Durch die Entwicklung effizienter Algorithmen zur Berechnung verschiedener Matrizen und die Verwendung von JIT-Compilern, konnte bereits Halbierung der Rechenzeit pro Lastfluss erreicht werden. Insbesondere bei Netzen mit einer großen Anzahl an Netzknoten wird der Geschwindigkeitsvorteil deutlich.

Ein weiteres Projektziel ist die Entwicklung der Integration der Test- und Simulationsumgebung „OpSim“ mit einem Netzplanungstool. Dabei werden Netzplanungsalgorithmen untersucht und Konzepte für die Berücksichtigung von Netzbetriebsführungen als Maßnahmen einer Netzausbauplanung erarbeitet. Zudem erfolgt eine Integration von Netzausbauplanungswerkzeugen und der Test- und Simulationsumgebung „OpSim“.

1) Vergleich der Rechenzeiten verschiedener Leistungsflussolver.
 1) Comparison of calculation times of different power flow solvers.



1)



2)

2) Geplantes Konzept zur Untersuchung des Einflusses von Netzbetriebsführungen auf den Netzausbau in Verteilungnetzen.
 2) Proposed concept to investigate the influence of grid control strategies on the planning of distribution grids.

Gefördert durch:



Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0325593B

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ansprechpartner
 DIPL.-ING. BERND GRUSS, DIRK FETZER, M.SC. (e²n)

Titel
MICROGRID LABOR

title
MICROGRID LAB

Laboraufbau bestehend aus
 Umrichterschranken, Schaltschrank
 sowie Maschinensatz.
*Microgrid infrastructure consisting of
 inverter cabinets, switching cabinet
 and machine set.*



Möglichkeit zur Untersuchung des Verhaltens von Microgrids mit hohem Anteil erneuerbarer Energieerzeugung

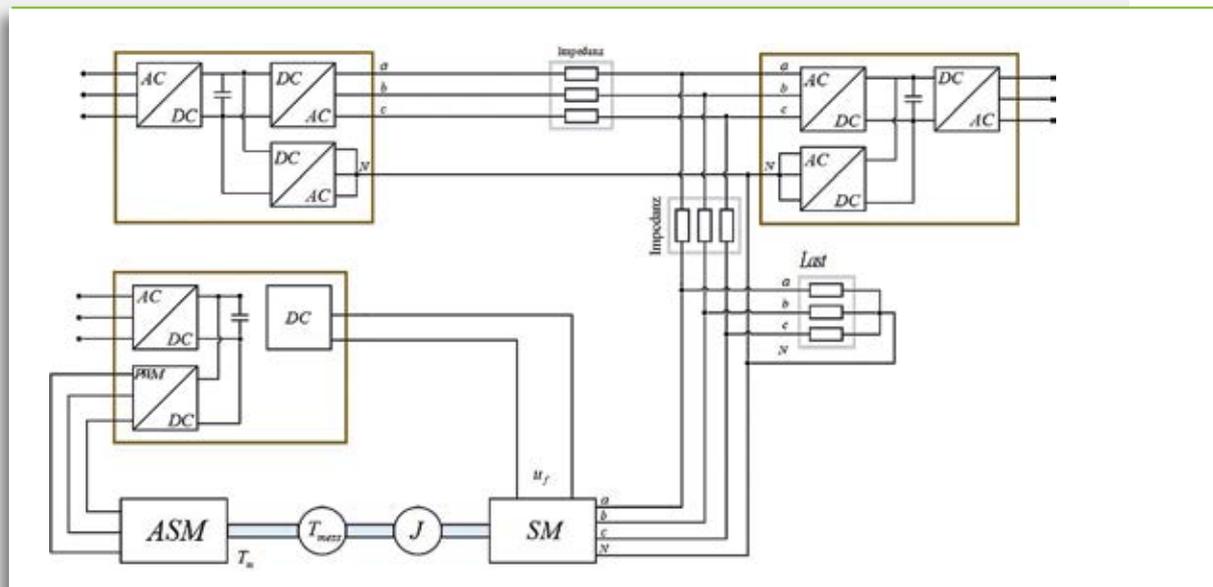
Possibility to investigate the behaviour of microgrids with a high share of renewable energy resources

Im Jahr 2016 wurde am Fachgebiet e²n eine Laboreinrichtung bestehend aus zwei Umrichterschranken, einem Schaltschrank und einem Maschinensatz beschafft, aufgebaut und in Betrieb genommen. Der Standort des Labors ist das Design-Zentrum Modulare Versorgungstechnik (DeMoTec), welches gemeinsam von Fraunhofer IWES und der Universität Kassel betrieben wird. Die Umrichter sind über eine Matlab/Simulink-Schnittstelle frei programmierbar. Ein Umrichter wird zur Ansteuerung des Maschinensatzes verwendet. Der andere Umrichter kann als Spannungs- oder Stromquelle konfiguriert werden. Damit lässt sich beispielsweise das Verhalten einer Photovoltaik-Anlage nachbilden. Die Leistungsklasse der Umrichter und des Maschinensatzes liegt bei 15 kVA. Das System ist für eine Nennspannung von 400 V ausgelegt. Über den Schaltschrank lassen sich alle Komponenten des Systems auf praktische Weise verschalten. Das Hinzuschalten von weiteren Elementen, wie beispielsweise einer dreiphasigen Last, ist ebenfalls möglich.

In 2016 a lab infrastructure was purchased, build up and commissioned. It consists of two inverter cabinets, one switch cabinet and a machine set. The Microgrid Lab is situated in the DeMoTec facility which is a cooperation of the Fraunhofer IWES and the University of Kassel. The inverters are programmable via a flexible Matlab/Simulink interface. One inverter is used to drive the machine set, the other inverter can be configured in current source or voltage source mode. With this, the behaviour of, e.g. a photovoltaic system can be emulated. The power rating of the inverters and the machine is 15 kVA. The nominal voltage of the setup is 400 V. The switch cabinet enables the flexible interconnection of the components of the setup. Furthermore, it enables the incorporation of external devices, like three phase loads.

Mit dem Versuchsaufbau soll das dynamische Verhalten von Microgrids untersucht werden. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Wechselwirkung zwischen der Regelung von Synchrongeneratoren und stromrichterbasierten Anlagen, wie beispielsweise Photovoltaikanlagen.

The Microgrid Lab allows investigations on the dynamic behaviour of microgrids and combined rotating and static generator systems. The focus lays in the interaction of the synchronous generator and renewable energy resources like photovoltaic systems.



Verschaltungsplan des Laboraufbaus.
 Circuit layout of the laboratory setup.

Ansprechpartner

GUSTAV LAMMERT, M.SC. (e²n)

Titel

**EINFLUSS VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN AUF
DIE KURZZEIT-SPANNUNGSSTABILITÄT**

title

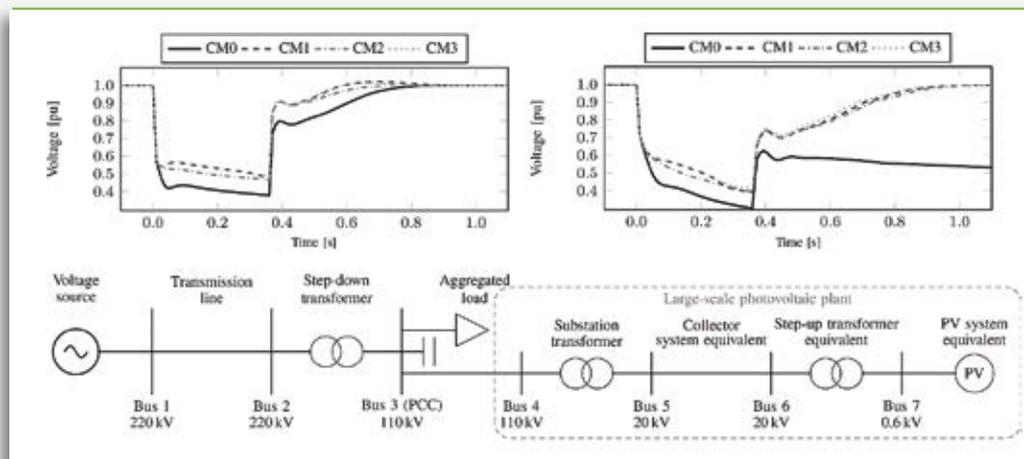
**IMPACT OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON
SHORT-TERM VOLTAGE STABILITY**

Die elektrische Energieversorgung befindet sich in einem fundamentalen Wandel durch die steigende Durchdringung von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA), wie z. B. Windkraft- oder Photovoltaik (PV)-Anlagen. Die dynamische Charakteristik dieser Technologien ist grundlegend verschieden zu konventionellen Kraftwerken mit direktgekoppelten Synchrongeneratoren. Das kann zur Folge haben, dass sich das Verhalten des Energieversorgungssystems im Fehlerzustand ändert. Daher sind dynamische Netzstudien erforderlich um den Einfluss von DEA auf die Netzstabilität zu bewerten.

Kurzzeit-Spannungsinstabilität, oftmals auch als transienter Spannungskollaps bezeichnet, stellt eine große Gefahr im Netzbetrieb dar, da sie zu kaskadierten Fehlern und/oder zu systemweiten Netzausfällen führen kann. Die treibende Kraft hinter diesem Effekt ist die Tendenz von aggregierten Asynchronmotoren, ihre bezogene Leistung im Fehlerfall wieder herzustellen. In diesem Kontext kann eine intelligente Regelung von PV-Anlagen helfen, das Netz vor Kurzzeit-Spannungsinstabilität zu schützen.

Darüber hinaus kann die Regelung von Wirk- und Blindleistung der PV-Anlage nicht nur die Kurzzeit-Spannungsstabilität, sondern auch die transiente Stabilität sowie die Frequenzstabilität beeinflussen. Aus diesem Grund werden dynamische Netzstudien durchgeführt, um das Verhalten des Gesamtsystems zu analysieren und Verbesserungsansätze zu entwickeln, um Netzausfälle möglichst zu vermeiden.

Presently, the electrical power system is undergoing fundamental changes due to the increasing penetration of Inverter Based Generation (IBG), i.e., wind and photovoltaic (PV) generation. The dynamic characteristics of these technologies are different from conventional synchronous generators that may change the performance of the power system following disturbances. Therefore, dynamic studies are required in order to evaluate the impact of IBG on power system stability.



Modell zur Untersuchung der Kurzzeit-Spannungsstabilität: Unten: Ersatzschaltbild des Systems; Oben: Spannung an der Sammelschiene 3 für verschiedene Betriebsmodi der Photovoltaikanlage: Oben links: System ist für alle Betriebsmodi kurzzeit-spannungsstabil; Oben rechts: System ist für den Betriebsmodus CM0 kurzzeit-spannungsinstabil.

Model for the investigation of short-term voltage stability: Bottom: Single-line representation of the system; Top: Voltage at bus 3 for different control modes of the photovoltaic systems: Top left: For all control modes the system is short-term voltage stable; Top right: For control mode CM0 the system is short-term voltage unstable.

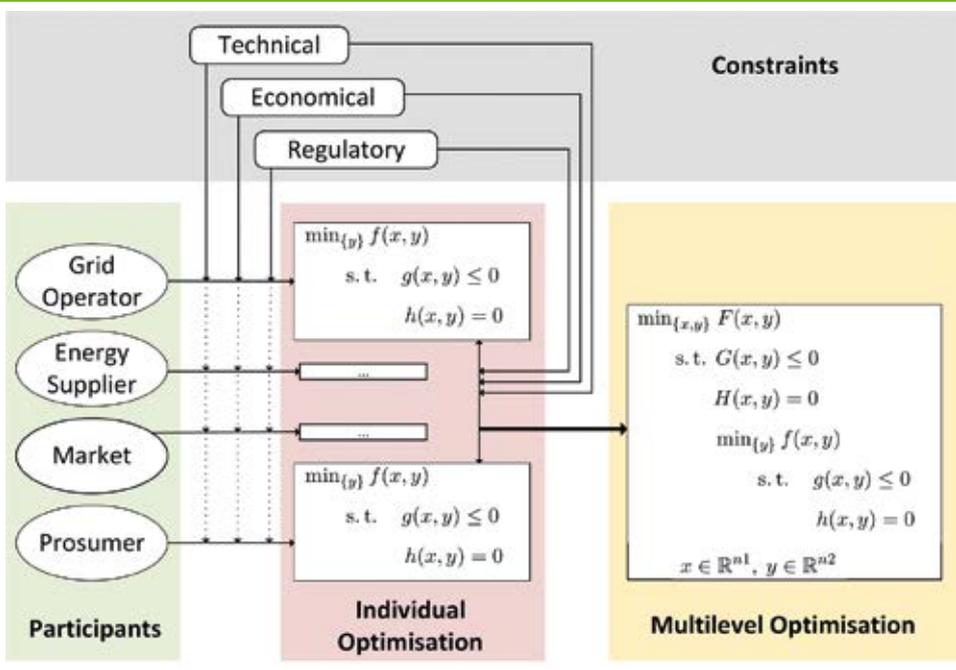
Short-term voltage instability is also known as transient voltage collapse and it is a major threat in power system operation as it may trigger cascading failures and/or wide-spread blackouts. The driving force is the tendency of aggregated induction motor loads to restore consumed power. In this context, the smart control of large-scale PV systems might help the power system to avoid short-term voltage instability.

With respect to this, the active and reactive power control of PV systems affects not only short-term voltage stability, but also transient stability as well as frequency stability. Therefore, bulk power system dynamic studies are used in order to investigate and improve the stability in order to prevent the power system from a wide-spread blackout.

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0325776J**



Schematische Darstellung der Mehrebenenoptimierung in Energieversorgungssystemen.
Schematic representation of Multilevel Optimisation in Power Systems.

Moderne Energieversorgungssysteme, insbesondere seit der Liberalisierung der Strommärkte in Europa, sind gekennzeichnet von einer Vielzahl interagierender Akteure. Stromkunden, seien es Haushalte, Gewerbe- oder Industriebetriebe; Betreiber von Erzeugungsanlagen, seien es kleine Aufdach-Photovoltaikanlagen, Offshore Windparks oder auch Kohlekraftwerke; Stromhändler und Strommärkte, aber insbesondere auch die Betreiber der physikalisch verbindenden Netze auf allen Spannungsebenen und die durch Gesetze und Richtlinien regulierenden Instanzen sind dabei technisch, regulatorisch und ökonomisch eng miteinander verwoben.

Dieses hochkomplexe System ist historisch gewachsen und bietet dadurch an diversen Stellen die Möglichkeit, Synergien beim Zusammenwirken zweier oder mehrerer Akteure, beispielsweise zweier Netzbetreiber unterschiedlicher Spannungsebenen an ihren gemeinsamen Netzverknüpfungspunkten, nutzbar zu machen.

Hierfür steht mit der aus den Wirtschaftswissenschaften kommenden Theorie der Mehrebenenoptimierung eine Methode zur Verfügung, die es erlaubt die unterschiedlichen und vor dem Hintergrund der gültigen Regulierung gegebenenfalls sogar widerstrebenden Zielsetzungen miteinander zu verknüpfen und ein Gesamtergebnis zu erzielen, das für beide (oder im Falle einer Mehrebenenoptimierung alle) Akteure eine Verbesserung darstellt und gleichzeitig etwaige Randbedingungen nicht verletzt. Dazu werden die einzelnen an einer Situation beteiligten Akteure zunächst einzeln mit ihren Zielfunktionen und Nebenbedingungen als Optimierungsproblem modelliert und im Anschluss zu einem gemeinsamen Optimierungsproblem verbunden.

Contemporary Power Systems in the context of the liberalisation of energy markets, that continues in Europe and worldwide, are characterised by a multitude of interacting participants.

On the consumption level, there are e.g. households, business and industrial customers. The generation side may amongst others be represented by small scale rooftop photovoltaic systems, offshore wind parks or conventional power plants. Energy traders and markets, but especially the operators of grids on the different voltage levels and the institutions regulating and controlling them via law, directives and standards, are interconnected.

This highly complex system has evolved over time and thus offers numerous opportunities of exploiting hidden synergies between different participants. An example is the interaction of two grid operators on different voltage levels.

For this purpose there is a rich theory originating from economics. Multilevel optimisation approaches allow the combination and integration of different and possibly conflicting objective functions in consideration of the constraints. The methods will foster improved results for both (or in case of multilevel optimisation all) participants.

The procedure is to model each of the participants who is part of a specific situation, as an individual optimisation problem followed by combining them via transformation into an upper and a lower level within a single optimisation problem.

Ansprechpartner

ING. DANIEL ALEJANDRO FRANCO YAÑEZ (e²ⁿ)

Titel

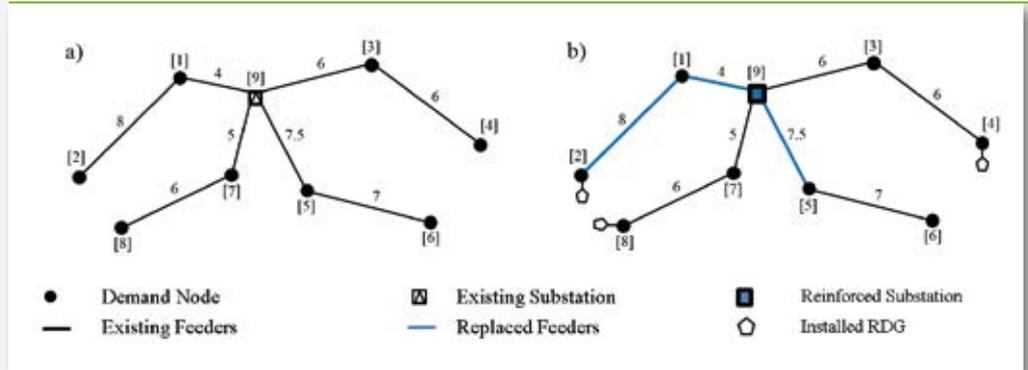
MEHRSTUFIGE AKTIVE VERTEILNETZPLANUNG BASIERT AUF EINER RISIKOAVERSEN ENTSCHEIDUNGSFINDUNGSPERSPEKTIVE

title

MULTISTAGE ACTIVE DISTRIBUTION NETWORK PLANNING BASED ON A RISK AVERSE DECISION MAKING PERSPECTIVE

Der rasche Anstieg des Energiebedarfs in Elektrizitätsversorgungssystemen zahlreicher Länder erfordert den ordnungsgemäßen Ausbau der Verteilnetze. Die Verteilungsnetzausbauplanung (VNAP) hat das Ziel Investitionsalternativen zu definieren, welche den Anforderungen der Verbraucher, unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Vorgaben, genügen. Es handelt sich um ein komplexes Problem aufgrund von Unsicherheiten diverser Parameter, der großen Anzahl von Variablen und deren Einschränkungen sowie der nicht-konvexen, nicht-linearen gemischten Ganzzahligkeit des Optimierungsproblems.

The rapid increase of power demand in power systems in many countries world-wide requires proper expansion of the distribution networks. The distribution network expansion planning (DNEP) consists of defining the investment alternatives to satisfy the



In den letzten Jahren wurden erneuerbare Erzeugungsanlagen (EE)-Anlagen in die Verteilungsnetze integriert, mit dem Ziel eine umweltfreundliche Energieversorgung zu erreichen. Charakteristisch für EE-Anlagen sind eine volatile Stromerzeugung sowie deren Anschlussbedingungen an Verteilungsnetze. Diese Charakteristika haben Einfluss auf die Art und Weise der Planung und des Betriebs elektrischer Verteilnetze. Es findet ein Wandel von passiven Netzen, mit unidirektionalen Leistungsflüssen, hin zu aktiven Netzwerken, mit mehreren Leistungseinspeisungspunkten, statt. Dadurch wird die Komplexität des VNAP-Problems weiter erhöht.

Planung für ein 9-Knoten Netz. a) Aktuelles Netz b) Ausgebautes Netz.
 Planning for a 9-node network. a) Actual Network b) Reinforced Network.

consumers' requirements in time and manner, taking into account technical and economic constraints. It is a complex problem because of the uncertainties in some input parameters, the large number of variables and constraints, and its non-convex non-linear mixed integer nature.

Ziel dieses Promotionsvorhabens ist es, ein ganzheitliches mehrstufiges Planungsmodell, unter Berücksichtigung der Einbindung von EE-Anlagen, für Verteilungsnetze zu entwickeln. Das Modell wird entsprechend einer risikoaversen Entscheidungsfindungsperspektive und nach den Hauptmerkmalen der meisten lateinamerikanischen Verteilungssysteme entwickelt.

In the last years, renewable distribution generation (RDG) has been integrated into the distribution networks with the goal of meeting clean energy targets. The RDG is characterized by its intermittency on energy production, and its inclusion has been changing the way of planning and operating the distribution networks. From passive networks with unidirectional power flows to active networks with multiple power injection points, increasing the complexity of the DNEP problem.

The objective of this PhD project is to develop an integral multistage expansion planning model for distribution systems, taking into account the incorporation of RDG. The model is developed from a risk averse decision making perspective, and according to the main characteristics of most Latin American distribution systems.



INSTITUTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Gefördert durch: Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), Institut für Elektrische Energie (IEE) der Nationalen Universität von San Juan in Argentinien und des Argentinischen Nationalrats für wissenschaftliche und technische Forschung (CONICET)

Ansprechpartner

DIPL.-ING., DIPL.-WI.-ING. ERIKA KÄMPF (e²n)

Titel

AUSWIRKUNG DER BERÜCKSICHTIGUNG VON KOSTEN REGELBARER BLINDLEISTUNG AUS WIND UND PHOTOVOLTAIK-PARKS AUF BE-TRIEB UND PLANUNG VON VERTEILNETZEN

title

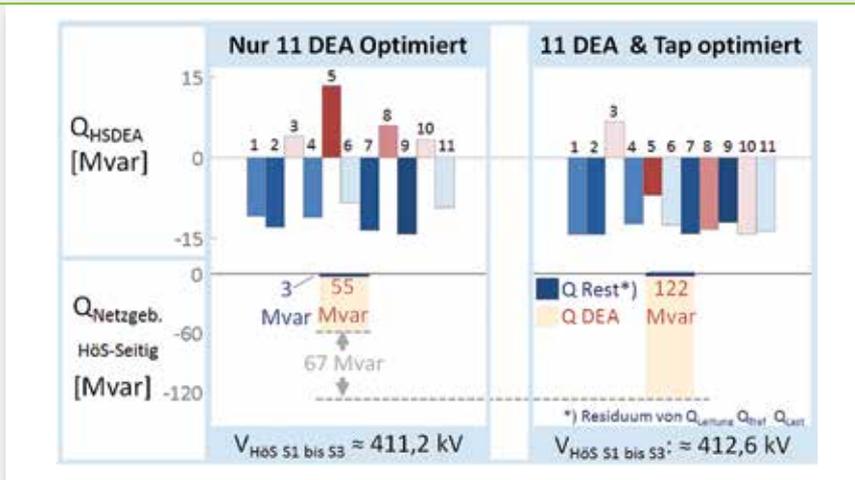
CONSIDERING REACTIVE POWER RELATED LOSSES OF PHOTOVOLTAICS AND WIND PARKS IN POWER SYSTEM PLANNING AND OPERATION

Eine spannungsebenen-übergreifende, vergleichende Kosten-Nutzen-Analyse mit Schwerpunkt auf der verlässlichen Beeinflussung des Blindleistungshaushaltes an der Schnittstelle Verteilnetz/Übertragungsnetz

A comparative cost-benefit analysis with focus on reliable reactive power management at the EHV/HV interface

Dezentrale Einspeiseanlagen (DEA) sind verpflichtet, regelbare Blindleistung in definiertem Umfang kostenfrei dem Netzbetreiber

Today, provision of controllable reactive power from distributed energy resources (DER) usually is a compulsory, free-of-charge ancillary service. High voltage (HV) system operators increasingly face imbalances in reactive power exchange with neighbouring voltage levels. Utilizing DER controllable reactive power to reduce these imbalances and make the HV system perform as controllable reactive power resource from extra high voltage (EHV) level perspective is a tempting option in this situation. The thesis undertakes a systematic cost-benefit comparison between conventional compensating equipment and quasi-stationary provision of controllable reactive power by DER. Full consideration is given to all relevant kinds of losses inside DER parks, ranging from systems with fully rated converters to those with doubly fed induction generators. On the other hand, the impact of DER reactive power provision on power system losses is made fully transparent by integrating the DER into a contingency constrained optimal power flow. The Figure shows the impact of EHV/HV transformer tap control strategy on the amount of controllable reactive power that

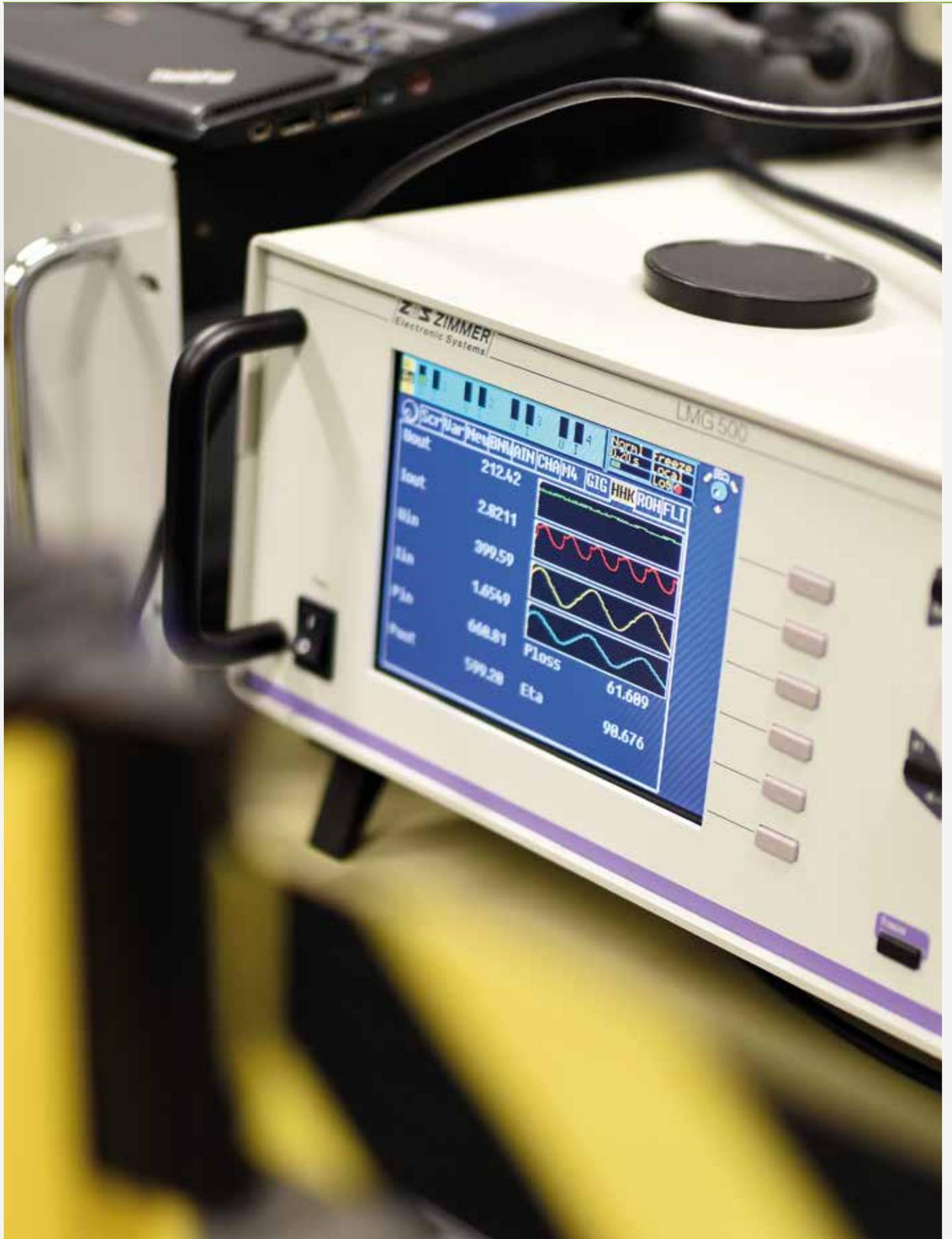


Auswirkung der HÖS/HS Stufenstellung auf die Menge an Blindleistung, die verlässlich an HÖS bereitgestellt werden kann.
 Impact of EHV/HV transformer tap control strategy on the amount of reactive power that can be reliably made available to EHV.

zur Verfügung zu stellen. Steht verlässliche (24/7) Blindleistung aus DEA zur Verfügung, kann der Verteilnetzbetreiber auf planerisch relevante Weise den Blindleistungsaustausch mit dem Übertragungsnetzbetreiber beeinflussen. Die Arbeit führt eine systematische, vergleichende Kosten-Nutzen-Analyse durch: Es werden alle relevanten parkinternen Kosten der Blindleistungsbereitstellung für verschiedene DEA- Typen – von Vollumrichtern bis doppelgespeisten Asynchrongeneratoren – untersucht, und den Kosten gegenübergestellt, welche bei Verwendung von netzbetreibereigenen Kompensationsanlagen entstehen. Die Veränderung der Netzverluste wird für verschiedene Varianten mittels optimierenden Lastflusses unter Berücksichtigung der Netzsicherheitsrechnung (n-1) ermittelt. Die Abbildung zeigt, wie die Menge der verlässlich bereitstellbaren Blindleistung auch von der Regelstrategie des Höchstspannungs-/Hochspannungs-Transformator-Stufenstellers abhängt [1]. Insgesamt wird deutlich, dass die ökonomische Attraktivität regelbarer Blindleistung aus DEA als Alternative oder Ergänzung zur Investition in Kompensationsanlagen auch von den angenommenen regulatorischen Rahmenbedingungen und den Kosten der Komplexität beeinflusst werden.

can be made available from HV to EHV. The idea is to maximize the overall economic benefit by identifying efficient solutions for allocating the costs of reliable reactive power provision while taking a cross-voltage level perspective.

[1] E. Kaempf, M. Braun, A. Schweer, W. Becker, R. Halbauer and F. Berger, "Reactive Power Provision by Distribution System Operators," Poster Cigre Session, Paris 2014.







Anlagen und
Hochspannungstechnik

Ansprechpartner
PROF. DR.-ING. ALBERT CLAUDI

Titel
**DAS FACHGEBIET ANLAGEN UND HOCH-
SPANNUNGSTECHNIK (AHT)**

title
**DEPARTMENT OF POWER SYSTEMS AND
HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY**



Anlagen und
Hochspannungstechnik

Die Hochspannungstechnik ist eine Schlüsseltechnologie der Energietechnik. Hohe elektrische Feldstärken treten in Anlagen der Übertragungs- und Verteilnetze auf, einerseits in den klassischen Systemen wie Transformatoren, Leitungen und Schaltgeräten, andererseits aber auch in Leistungshalbleitern und leistungselektronischen Baugruppen. Erneuerbare Energiequellen wie Wind- und PV-Anlagen werden aufgrund der höheren Leistungen mit höheren Spannungen betrieben. Nicht zuletzt stellt die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) eine Alternative zur Drehstromübertragung dar, die neue Herausforderungen an Isolierstoffe und deren Zuverlässigkeit stellt.

Das Fachgebiet AHT ist mit rund 20 Mitarbeitern, Doktoranden und Lehrbeauftragten anwendungsorientiert ausgerichtet und verfügt über eine ausgezeichnete experimentelle Ausstattung. Zwei Hochspannungslabore stehen für die Lehre und Forschung zur Verfügung. Konkret sind Hochspannungsprüfanlagen und -messtechnik bis zu folgenden Spannungen im Einsatz:

- Gleichspannung bis 280 kV
- Wechselspannungen bis 300 kV bei 40-400 Hz
- Impulsspannungen bis 1 MV (Blitz- und Schaltstoß)

Ende des Jahres 2016 wurde eine begehbare Klimakammer mit einer Hochspannungsdurchführung in Betrieb genommen, die Langzeituntersuchungen größerer Objekte unter Spannung bis 100kV (AC) ermöglicht, mit entsprechenden zeitveränderlichen Temperatur- und Feuchtestufen zwischen -40...140° Celsius, bzw. 0...100% Feuchtigkeit.

Ein Forschungsschwerpunkt des Fachgebiets betrifft innovative Isolierstoffe mit nichtlinearen, feldsteuernden Eigenschaften. Diese

High-voltage technology is a key technology in electrical engineering. High electrical field strengths occur in systems of transmission and distribution networks, on the one hand in classical systems such as transformers, lines and switching devices, but also in power semiconductors and power electronic assemblies. Renewable energy sources such as wind and PV systems are operated at higher voltages due to the higher power ratings. Last but not least, high-voltage direct-current (HVDC) transmission represents an alternative to three-phase transmission, which presents new challenges for insulation materials and their reliability.

With around 20 employees, doctoral students and teaching staff the department AHT is oriented towards the application and has excellent experimental equipment. Two high-voltage laboratories are available for teaching and research. Specifically, high-voltage test systems and measuring systems are used up to the following voltages:

- *DC voltage up to 280 kV*
- *Alternating voltages up to 300 kV at 40-400 Hz*
- *Pulse voltages up to 1 MV (lightning and switching impulse)*

At the end of 2016, a walk-in climatic chamber with a high voltage bushing was put into operation, which allows long-term tests of larger objects under voltage up to 100 kV (AC) with corresponding time-varying temperature and humidity profiles between -40...140° Celsius and 0...100% humidity.

One area of research in this field is innovative insulating materials with non-linear, field-controlling properties. These materials are



Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi
Fachgebietsleiter AHT

Faraday-Halle mit 1MV Stoßspannungsgenerator.
Farady-Hall with 1MV impulse generator.

Materialien sind in der Lage lokal auftretende hohe Feldstärken durch eine erhöhte Leitfähigkeit abzubauen, und somit Teilentladungen und letztendlich den elektrischen Durchschlag zu verhindern. In den letzten Jahren wurden mit modernster Messtechnik die Möglichkeiten für Werkstoffuntersuchungen weiter ausgebaut.

Ein zweiter Schwerpunkt sind Monitoring- und Diagnosetools für Anlagen im Netz. Hierbei geht es um den Einsatz von Sensorik zur Überwachung von Isolationssystemen mit neuen Lösungsansätzen, wie z.B. dem Befliegen von Hochspannungsfreileitungen mit „Unmanned Aerial Systems“ (UAS), und der Detektion und Lokalisierung von Defekten und Schäden an Freileitungsisolatoren. Dabei kommen neben den klassischen optischen Analysen auch andere Technologien wie multispektrale Analysen (UV, IR) zum Einsatz.

Alle Forschungsprojekte finden in enger Kooperation mit Industrieunternehmen statt und es werden konsequent Abschlussarbeiten von Studierenden integriert. Nicht zuletzt dadurch ergeben sich exzellente Perspektiven für die Berufskarrieren von Absolventen.

capable of degrading locally occurring high field strengths by an increased conductivity, and thus prevent partial discharges and ultimately the electrical breakdown. In the last few years, the possibilities for material investigations have been further expanded with state-of-the-art measuring technology.

A second focus is on monitoring and diagnostic tools for network installations. This concerns the use of sensors for monitoring insulation systems with new solutions, such as, for example, unmanned aerial systems (UAS) and the detection and localization of defects and damage to overhead line insulators. Besides the classical optical analyzes, other technologies such as multispectral analyzes (UV, IR) are also used.

All research projects are carried out in close co-operation with industrial companies and the students are involved consistently. Not least, this results in excellent prospects for graduate trainees.

Das Fachgebiet bietet folgende Lehrveranstaltungen an:
The following courses are offered by the department:

▪ AHT I und II	Prof. Claudi, S. Wels
▪ Energietechnisches Praktikum I und II	Stefan Jörres
▪ Hochspannungspraktikum RE²	Stefan Jörres
▪ Lichttechnik	Frau Dr. Vandahl, F. Gielsdorf, O. Winter, O. Schröder
▪ Blitz- und Überspannungsschutz für elektrische und elektronische Systeme	Dr. Gernot Finis
▪ Regelungstechnik RE²	Prof. Claudi, T. Raulf
▪ Seminar Elektr. Entladungen und Durchschläge	Prof. Claudi

Ansprechpartner

DIPL.-PHYS. JULIE PAYE (AHT)

Titel

CHARAKTERISIERUNG DER HOCHVOLT-FÄHIGKEIT VON PRESSMASSEN

title

CHARACTERIZATION OF THE HIGH-PRESSURE CAPABILITY OF PRESSING COMPOUNDS

In der Leistungselektronik spielt die galvanische Trennung zwischen elektrischen Systemen eine wichtige Rolle. Um Signale zwischen zwei galvanisch getrennten Schaltkreisen zu senden werden sogenannte

Datenkoppler eingesetzt, welche Signale entweder optisch, kapazitiv oder induktiv übertragen. Diese Datenkoppler haben unterschiedliche Funktionen, wie z. B. Signalübertragung zwischen Systemen die mit unterschiedlichen Spannungen betrieben werden, der Vermeidung von Erdschleifen und Gleichtaktstörung oder auch dem Schutz von Benutzern und Geräten vor Überspannungen.

Die Infineon Technologies AG entwickelt einen IC-integrierten magnetischen Datenkoppler, welcher auch unter extremen

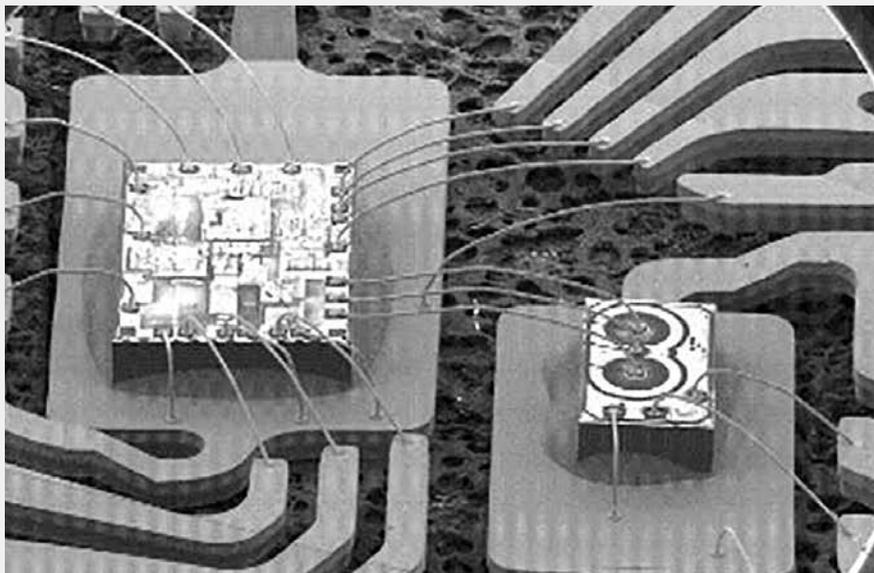
Umgebungen Spannungen bis zu 10 kVp überstehen soll. Dabei muss insbesondere sichergestellt werden, dass auch die Pressmasse um den Mikrochip der Spannung standhält.

Deshalb untersucht die Universität Kassel das elektrische Durchschlagsverhalten verschiedener Pressmassen unter den Rahmenbedingungen der jeweiligen Applikation, bspw. besonders hohe und tiefe Außentemperaturen sowie unterschiedliche Feuchtigkeitsniveaus. Anhand von Durchschlags- und Teilentladungsmessungen soll ein abgerundetes Bild der unterschiedlichen Durchschlagsmechanismen erarbeitet werden, sowie ein Verständnis über den Einfluss von Material-Parameter wie Glastemperatur und elektrische Leitfähigkeit ermittelt werden.

Das Verständnis dieser Durchschlagsmechanismen wird der allgemeinen Optimierung von Bauelementen dienen, die bei hohen Spannungen betrieben werden, und ist somit sowohl für Hersteller von Gehäusematerialien als auch Halbleiterchips von großem Interesse.

In power electronics, the galvanic isolation between electrical systems plays an important role. In order to send signals between two electrically isolated circuits so-called data couplers are used

which transmit signals optical, capacitive or inductive. These data couplers have different functions like signal transmission between systems operating at different voltages, the avoidance of ground loops and common-mode interference, or the protection of users and devices from over voltages. Infineon Technologies AG develops an IC-integrated magnetic data coupler which is designed to exceed voltages up to 10 kVp even under extreme conditions. In particular, it must be ensured



Halbleiterchip mit teilweise entfernter Pressmasse. Zwei Mikrochips sind auf den Leadframes geklebt, der rechte Mikrochip enthält den magnetischen Datenkoppler (zwei Transformator-Spulen). Im Falle eines hohen Potentialunterschieds soll die Pressmasse zwischen den Leadframes für eine sichere Isolation sorgen.

Semiconductor chip with partially removed press compound. Two microchips are stuck on the lead frame, the right microchip contains the magnetic data coupler (two transformer coils). In the event of a high potential difference, the press compound between the lead frames should ensure a safe insulation.

that the compound is able to withstand the voltage around the microchip.

Therefore, the University of Kassel is investigating the electrical breakdown behaviour of different pressing masses under the general conditions of the respective application, for example particularly high and low outside temperatures as well as different moisture levels. By means of penetration and partial discharge measurements, knowledge of the different breakdown mechanisms is to be developed as well as an understanding of the influence of material parameters such as glass temperature and electrical conductivity.

The understanding of these breakdown mechanisms will serve the general optimization of devices operating at high voltages, and is therefore of great interest to manufacturers of package materials as well as semiconductor chips.

Ansprechpartner

TOBIAS RAULF, M.SC. (AHT)

Titel

**DOUBLELAYER – ENTWICKLUNG VON ZWEI-
LIGEN ISOLATIONSMATERIALIEN AUF GEL-
BASIS FÜR DEN EINSATZ IN KABELMUFFEN,
-VERZWEIGUNGEN UND ABZWEIGDOSEN**

title

**DOUBLELAYER – DEVELOPMENT OF TWO
LAYERED CABLE JOINTS, BRANCHES AND
JUNCTION BOXES WITH INSULATING AND
CONDUCTIVE LAYERS**



Beispiel einer Kabelmuffe
(Innere Isolation).
*Example of a cable joint
(inner part).*

Das Eurostars geförderte Projekt Doublelayer beschäftigt sich mit innovativen Isolierstoffen für Kabelmuffen, -verzweigungen, Abzweigdosen und Schaltern. Das Projekt wird mit einem Gesamtbudget von 1,5 Millionen Euro gefördert. Die Projektpartner sind Europur S.r.o. aus der Slowakei, Bureau Technique & Commercial S.a.r.l. aus Frankreich und die Technische Hochschule Wildau sowie GT Elektrotechnische Produkte GmbH aus Deutschland.

Ziel des Projektes ist es, eine Kabelmuffe zu entwickeln, welche aufgrund des Designs und der verwendeten Isolierstoffe langlebiger sowie einfacher zu montieren ist. Auf diese Weise werden Fehlerquellen minimiert und Ausfälle im Betrieb reduziert. Die technische Umsetzung erfolgt über eine zwei Komponenten-Isolation. Eine innere halbleitende Schicht dient zur Feldsteuerung und die äußere Schicht dient als eigentliche Isolation.

Das Teilprojekt des FG AHT umfasst die Untersuchung der elektrischen Parameter von den Isoliergelen und der kompletten Kabelmuffe unter verschiedenen Umwelteinflüssen.

Die Projektlaufzeit beträgt 30 Monate und das Projekt endet im März 2018.

The project, which is supported by Eurostars, is aimed at the design of electrical switches, joints, or branches with innovative insulation materials. The project is funded with a total budget of 1.5 million euros.

The project partners are Europur S.r.o. from Slovakia, Bureau Technique & Commercial S.a.r.l. from France and the Technischen Hochschule Wildau as well as GT Elektrotechnische Produkte GmbH from Germany.

The aim of the project is to develop a cable joint which is more durable and easier to mount due to its design and the insulating material. In this way, error sources are minimized and breakdowns during operation are reduced. Technically, the whole issue is solved by using two insulating layers. An inner conductive layer serves as field control and the outer layer serves as the actual insulation.

The subproject of the FG AHT comprises the investigation of the electrical parameters of the insulating gels and the complete cable joints under different environmental influences.

The project duration is 30 months, ending in March 2018.

Ansprechpartner
 DIPL.-ING. SEBASTIAN WELS (AHT)

Titel
**ELEKTRISCHE ISOLATOREN AUF BASIS VON
 TECHNISCHEN KUNSTSTOFFEN**

title
**ENGINEERING PLASTICS AS ELECTRICAL
 INSULATORS**

Der Trend zur Miniaturisierung von elektronischen Baugruppen bei stetig höher werdenden elektrischen Beanspruchung, unter teils rauen Betriebsbedingungen, führt zu steigenden Anforderungen an die Belastbarkeit der Isolierstoffsysteme. Im Bereich der technischen Kunststoffe gewinnen deshalb die Kenntnisse über die elektrische Festigkeit und das Alterungsverhalten immer mehr an Bedeutung. Zusätzlich wächst die Anzahl von Leistungselektronik-Komponenten, die Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Aktuell gibt es lediglich eingeschränkte Kenntnisse über die Lebensdauer der Gehäusematerialien unter dem Einfluss von elektrischen Feldstärken, Feuchtigkeit und Temperatur.

The trend towards miniaturization of electronic modules, with steadily increasing electrical stresses, results in growing demands on the load capacity of the utilized insulation systems. That is why, especially in the field of engineering plastics, knowledge of the electrical strength and aging performance has a great importance. In addition, there is an increasing number of power electronics which are exposed to environmental influences. Currently there is only a limited knowledge about the lifetime of the housing materials under the influence of electric field strengths, humidity and temperature.



Prüfkörperdesign 3D-Ansicht.
 Specimen design 3D-view.

Ziel des Projektes ist es, diese Wissenslücke zu schließen. Daher wird die elektrische Lebensdauer, ausgewählter Materialien, unter verschiedenen Umwelteinflüssen untersucht. Anschließend werden die Alterungsmechanismen betrachtet, um die grundlegenden Prozesse der Materialzerstörung zu verstehen. Aktuell wird ein neues Prüfkörperdesign für technische Kunststoffe entwickelt, das es ermöglicht, die Gehäusematerialien mit elektrischer Feldstärke, unter verschiedenen Umweltbedingungen, über einen längeren Zeitraum zu belasten (siehe Abbildung). Im nächsten Schritt werden Lebensdaueruntersuchungen durchgeführt.

The aim of the project is to close that knowledge gap. Therefore, the lifetime characteristics of selected materials, under environmental influences, will be determined. Afterwards, the ageing mechanisms will be examined to understand the principle processes of material degradation. Actually a new specimen design for engineering plastics is developed, which allows stressing the insulating plastics with electric field strength under various environmental conditions over an extended period of time (see figure). In the next step lifetime investigations will be executed.



Sponsored by ECPE European Center for Power Electronics e.V.

Ansprechpartner

CHRISTIAN WIENS, M.SC. (AHT)

Titel

UNTERSUCHUNGEN ZUM DYNAMISCHEN VERHALTEN VON PHOTOVOLTAIK-QUELLEN

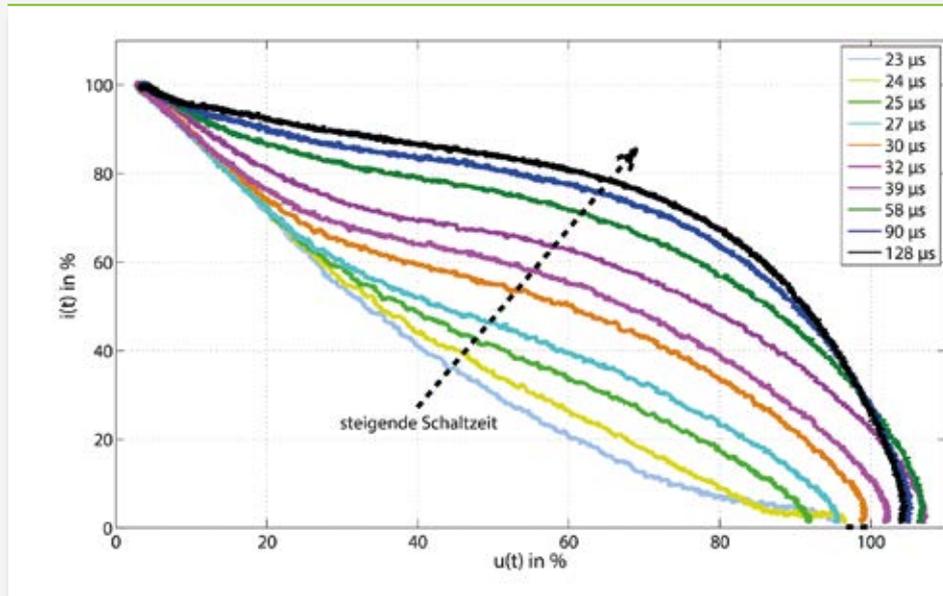
title

INVESTIGATIONS OF THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF PV-SOURCES

Photovoltaik als Energieerzeuger gewinnt sowohl im privaten als auch industriellen Bereich zunehmend an Bedeutung. PV-Quellen zeichnen sich durch den nichtlinearen Zusammenhang von Strom und Spannung aus (PV-Kennlinie). Aufgrund dieser Kennlinie ist die Belastung von Anlagen teilweise höher als bei herkömmlichen (linearen) DC-Quellen. Insbesondere bei Schaltgeräten macht sich dies bemerkbar, da PV-Quellen eine sehr hohe Dynamik besitzen.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, das dynamische Verhalten von PV-Quellen zu beschreiben und deren Grenzen zu definieren. Dazu wurde, inspiriert durch die DIN EN 50539-11 für Überspannungsschutzgeräte in PV-Quellen, ein Halbleiterschalter variabler Schaltzeit verwendet, um Dynamikmessungen an PV-Quellen durchzuführen. Für diese Messungen werden die PV-Anlagen kurzgeschlossen und anschließend wieder freigeschaltet. Durch Messung des Stroms durch das Schaltgerät und der darüber anliegenden Spannung, wird die dynamische Kennlinie während des Ausschaltvorgangs gebildet. Ein Ergebnis dieses Versuchs für verschiedene Schaltzeiten ist in der oberen Abbildung dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass ab Schaltzeiten $< 50 \mu\text{s}$ die PV-Quelle nicht mehr ihrer stationären Kennlinie folgt.

Photovoltaic as an energy generator is gaining importance in both in the private and industrial sectors. PV sources are characterized by the non-linear relationship between current and voltage (PV-



Dynamische Kennlinien einer PV-Quelle für verschiedene Ausschaltzeiten in normierter Darstellung.

Dynamic characteristics of one PV-source in dependency of different switch-off times in standardized representation.

characteristic). Due to this characteristic, the load for systems is partly higher than in conventional (linear) DC sources. Especially for switching elements this has a decisive effect, because PV sources have a very high dynamic.

The aim of these investigations was to define the dynamic behaviour of PV sources and to find out the limits. Inspired by the EN 50539-11 for surge protective devices in PV sources, a semiconductor switch with variable switching time was used to perform dynamic measurements on PV sources. The PV-systems were switched in short circuit and back to idle. By measuring the current through the switch and the voltage over the switch, the dynamic characteristic during the switch-off process was calculated. A result of this experiment for different switching times is shown in the previous figure. It is clearly visible that for switching times $< 50 \mu\text{s}$ the PV source no longer follows its static characteristic.



Sponsored by: Phoenix Contact GmbH & Co. KG BU Trabtech

Ansprechpartner
TOBIAS RAULF, M.SC. (AHT)

Titel
FIESELER STORCH FLUGSIMULATOR
– EIN STUDENTISCHES PROJEKT –

title
FIESELER STORK FLIGHT SIMULATOR
– A STUDENT PROJECT –



Der simulierte Kassler Storch D-EKLU im Flug über Kassel.
The simulated Stork D-EKLU in flight over Kassel.

Der Fieseler FI 156 „Storch“ ist ein propellergetriebenes Flugzeug aus dem Jahr 1936. Es ist in Kassel von Gerhard Fieseler entwickelt worden und bekannt für seine „Short Take-Off and Landing“-Fähigkeit. Ein letztes flugfähig restauriertes Exemplar ist am Kasseler Airport beheimatet.

Der Wunsch mit diesem lebendig gewordenen Stück Technikgeschichte mitzufiegen ist leider aufgrund der Abnutzung des wertvollen Flugzeugs nur wenigen Personen vergönnt. Daraus entstand die Idee in einem interdisziplinären studentischen Projekt, welches durch Spenden finanziert wird, einen realitätsgetreuen Storch-Flugsimulator zu bauen, um das Flugabenteuer einer breiten Öffentlichkeit näher zu bringen.

In diesem Projekt erhalten die Studenten zum einen Einblick in Geschichte der Flugzeugtechnik, zum anderen umfasst die Tätigkeit im Projekt viele Disziplinen der Ingenieurwissenschaften, wie z.B. der Umgang mit CAD-Tools, numerischen Werkzeugmaschinen, 3D-Druckern, Mikroelektronik und Schaltungstechnik. Hinzu kommen die Soft Skills, z.B. kommunikative und analytische Kompetenzen sowie Teamfähigkeit.

Detaillierte Informationen zum Projekt, den aktuellen Stand oder gar Optionen uns zu unterstützen finden Sie auf unserer Internetseite: **www.storch-simulator.de**.



Zielsetzung des Simulators: 1:1 Nachbau des Cockpits mit 180° Leinwand.
Objective of the simulator: 1:1 replica of the cockpit with a 180° screen.

The Fieseler FI 156 "Stork" is a propeller-driven aircraft from 1936. It was developed in Kassel by Gerhard Fieseler and is known for its "short take-off and landing" capability. One of the last flyable restored exemplars is located at Kassel Airport.

The flight with this part of technical history is unfortunately only granted to a few people, due to the wear of the valuable aircraft. In order to bring the flight adventure closer to the general public, the idea of building a realistic stork flight simulator in an interdisciplinary student project aroused, which is financed by donations.

In this project the students gain an insight into the history of aircraft-technology. Furthermore the activities in the project combine many disciplines of engineering, like the handling of CAD-Tools, numeric machine tools, 3D-printer, microelectronic and circuit design. On top of that soft skills, e.g. communicative and analytical skills as well as team skills were improved.

*You can find detailed information, the current status or even options to support the project on our website: **www.storch-simulator.de**.*

Ansprechpartner

STEFAN JÖRRES, M.SC. (AHT)

Titel

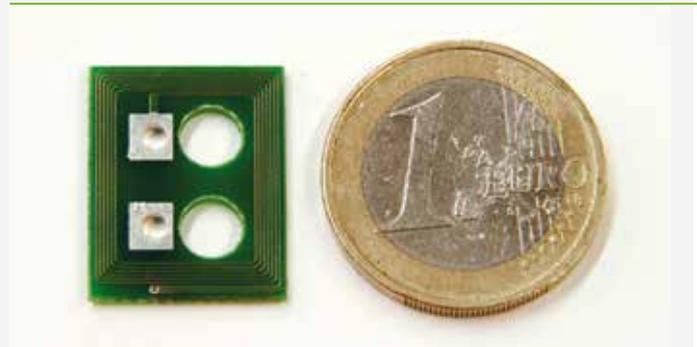
**UNTERSUCHUNGEN VON STROMSENSOR-
EIGENSCHAFTEN FÜR DEN GALVANISCH
GETRENNTEN EINSATZ IN ÜBER-
SPANNUNGSSCHUTZGERÄTEN**

title

**INVESTIGATIONS OF CURRENT SENSOR
PROPERTIES FOR GALVANICALLY ISOLATED
APPLICATION IN SURGE PROTECTIVE
DEVICES**

Testplatine mit Planarspule aus einer NFC-Anwendung (Near Field Communication).

Test board with planar coil from NFC-application.



In Zeiten der Digitalisierung und Miniaturisierung von elektrischen Schaltkreisen gewinnt das Thema Überspannungsschutz immer mehr an Bedeutung. Die wachsende Kommunikationsfähigkeit elektrischer Betriebsmittel zum Auslesen von Betriebszuständen ermöglicht eine zunehmende Ausfallsicherheit. Hierzu tragen ebenso Überspannungsableiter bei, welche derzeit nur sehr begrenzt in Kommunikationsprozesse eingebunden werden können.

Aus diesem Grund werden Untersuchungen zu kostengünstigen galvanisch getrennten Stromsensoren durchgeführt. Aus dem Stromverlauf können Rückschlüsse über Ableitvorgänge und den Betriebszustand eines Überspannungsschutzgerätes getroffen werden. Erste Ansätze bewegen sich in Richtung Magnetfeldsensoren, wobei das Induktionsprinzip und der Magnetowiderstandseffekt genauer untersucht werden. Eine Möglichkeit besteht darin, Rogowski-Spulen, welche bereits Stand der Technik bei Strommessung sind, durch Planarspulen zu ersetzen, um auf diese Weise Vorteile bezogen auf Platz und Kosten zu erlangen. Die Schwierigkeit bei Magnetowiderstandssensoren liegt in der hohen magnetischen Flussdichte von mehreren Tesla im unmittelbaren Umfeld der Ableiter. Erste Versuche werden mit Impulsströmen der Kurvenformen $8/20 \mu\text{s}$ und $10/350 \mu\text{s}$ durchgeführt.

In times of digitisation and miniaturisation of circuits, surge protection is of increasing importance. Increasing communication capabilities of electric devices along with monitoring of these devices enables increasing reliability. Also surge protective devices contribute significant to reliability of electric devices. However, the implementation of communication systems regarding surge protective devices is of limited extent.

For this reason, cost effective galvanically isolated current sensors will be investigated. They enable conclusions regarding arrester processes and the operating state of the surge protective device. First approaches deal with magnetic field sensors. Therefore, the induction principle and the magneto resistance effect are under more detailed investigation.

The replacement of Rogowski coils, which are state of the art in up to date current measurement systems, with planar coils offers the opportunity to take advantage of reduced size and lower costs. The difficulty of magneto resistance sensors is the very high magnetic flux density of several Tesla close to the arrester. First tests will be performed with surge currents with $8/20 \mu\text{s}$ and $10/350 \mu\text{s}$ waveforms.



**Gefördert durch: Phoenix Contact GmbH & Co. KG
BU TRABTECH, Blomberg**

Ansprechpartner

TOBIAS RAULF, M.SC. (AHT), HENRIK BROCKHAUS, M.SC. (AHT)

Titel

MONITORING VON FREILEITUNGEN MIT UNMANNED AERIAL SYSTEMS

title

MONITORING OF OVERHEAD LINES WITH UNMANNED AERIAL SYSTEMS



Prototyp E-Feld-Prüfstand; von links:
HV-Trafo, Vorwiderstand, E-Feld-Elektroden,
Isolator mit Mess-Elektronik.
Prototype of E-Field-Test bench; from left:
HV-Transformer, Series-Resistor, Electrodes,
Post-Insulator with shielded housing.

Für die Inspektion von Hochspannungsfreileitungen (High Voltage Overhead Lines, HVOL) werden vermehrt unbemannte Flugzeuge/ Multikopter (Unmanned Aerial Systems/UAS) eingesetzt. Diese sind in der Lage, aus geringer Entfernung zum Isolator, Mast, Leiterseil und den Armaturen Beschädigungen oder Fehler zu detektieren.

Das Fachgebiet AHT beschäftigt sich in diesem Zusammenhang mit zwei Kernthemen. Zum einen mit der Störfestigkeit von GNSS-Receivern in der Umgebung von starken elektromagnetischen Feldern und zum anderen mit neuer, innovativer Inspektionssensorik, die mit UAS eingesetzt werden kann.

Aktuell werden bei Inspektionsflügen von Netzbetreibern mit UAS lediglich Sichtkontrollen durchgeführt. Die dabei anfallenden Bilddaten werden anschließend manuell ausgewertet.

Der Forschungsschwerpunkt liegt bei der gesamtheitlichen Betrachtung der Problemstellung und der Einbettung des UAS als automatisierte Sensorplattform in die Inspektionsprozesse. Für diesen Einsatzzweck werden neue innovative Sensoren entwickelt und erprobt, die eine frühzeitige Erkennung von Defekten erlauben. Dabei werden moderne Breitbandempfänger und UV-Kameras zur Detektion von Teil- und Funkenentladungen sowie Sensoren zur Zustandsüberprüfung des Leiterseils eingesetzt.

Bei allen Robotik-Systemen – und so auch bei den durch AHT verwandten UAS – die zum Instandhaltungs-Monitoring von HVOL verwendet werden, kommen Satellitennavigations-Empfänger (Global

The Unmanned Aerial Systems (UAS) are increasingly used for the overhead line monitoring (OHL). These systems are able to detect damages of the insulator, pole, conductor cables and fittings in close proximity to these parts.

The department AHT is focused on two core topics. On one hand the immunity of GNSS receivers in the environment of high electromagnetic field strengths and on the other hand new, innovative inspection sensors, which can be used with UAS.

Currently, inspection flights with UAS are performed by means of visual inspection. The resulting image data is subsequently evaluated manually.

The main focus of the research concentrates on the general inspection and the embedding of the UAS as an automated sensor platform into the inspection processes.

For this purpose, new innovative sensors allowing an early detection of defects are developed and tested. Modern broadband receivers and UV cameras are used for the detection of partial and spark discharges as well as sensors for the condition monitoring of the conductor cable.

All robotic systems used for maintenance-monitoring of HVOL use receivers for Global Navigation Satellite Systems (GNSS) for navigation or georeferencing. This is valid for the UAS used by AHT, too. In operation the components of the system are exposed to high



Prototyp H-Feld-Prüfstand; von links: Stromversorgung, Zuleitung, H-Feld-Spule.
Prototype of H-Field-Test bench; from left: Current-Supply, Supply-Line, Coil.



Feldversuch: Inspektion der Isolatoren.
Field test: Inspection of the insulators.

Navigation Satellite System, GNSS) zur Navigation oder zur Georeferenzierung zum Einsatz. Dabei sind diese Komponenten starken elektrischen und magnetischen Feldstärken ausgesetzt. Bei in Deutschland üblichen HVOL-Geometrien können dabei Feldstärken bis zu 458 V/cm, bzw. 618 A/m, bezogen auf einen Mindestabstand von 1 m zu allen Leiterseilen, auftreten. Um die Funktion und Güte der GNSS-Empfänger und -Antennen bei diesen speziellen Einsatzbedingungen in Laborumgebung testen zu können, wurden durch das FG AHT Prüfstände zur Reproduktion der Feldstärken entwickelt. Hierfür wurden potentielle Störmechanismen identifiziert, Referenz-Freileitungen definiert, Feldstärke-Simulationen in der Umgebung der Freileitung durchgeführt und letztendlich zwei Indoor-Prüfstände im Hochspannungs-Labor aufgebaut. Zur Sicherstellung der Verfügbarkeit von realistischen GNSS-Signalen wurde das Hochspannungs-Labor in diesem Zuge mit einem Multifrequenz-GNSS-Repeater-System ausgestattet.

Aktuell finden Tests mit verschiedenen GNSS-Empfänger- und -Antennen-Modellen unterschiedlicher Hersteller unter Verwendung von GNSS GPS, GLONASS sowie Galileo statt. Dabei werden speziell die Auswirkungen der elektrischen und magnetischen netzfrequenten Felder, Oberschwingungen sowie äußerer Teilentladungen betrachtet.

electric and magnetic field strengths. For common HVOL geometries in Germany field strength values up to 458 V/cm and 618 A/m can occur with respect to a minimum distance of 1 m to each conductor. In order to enable the test of functionality and quality of the GNSS-receivers and -antennas under these special conditions in a laboratory environment, AHT developed test benches for the reproduction of these field strengths. For this purpose, potential interference-mechanisms were identified, reference-HVOL systems were defined, field strength-simulations for the vicinity of the HVOL were performed and two indoor test benches were set up in the high-voltage-laboratory. In order to ensure the availability of realistic GNSS-signals, the high-voltage-laboratory was equipped with a multi-frequency-GNSS-repeater-system.

Currently, tests with different GNSS-receiver- and -antenna-models of different manufacturers using the GNSS GPS, GLONASS and Galileo are carried out. Special focus is on the investigation of effects of grid-frequency electric and magnetic fields, harmonics as well as external partial discharges.

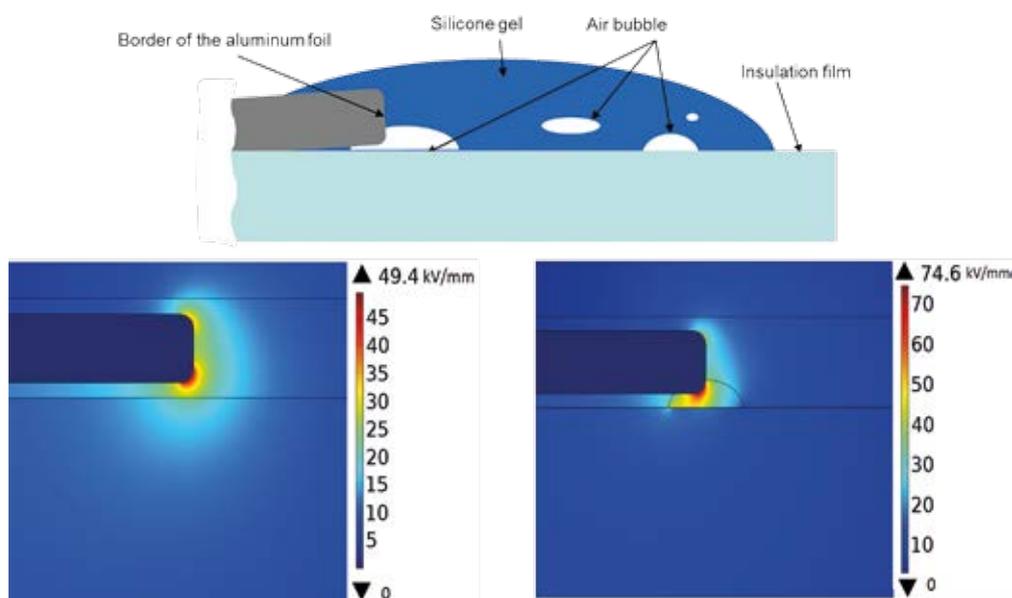
Ansprechpartner
DIPL.-ING XIAOYAN TANG (AHT)

Titel
**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN IM
RANDBEREICH VON HOCHSPANNUNGSDURCH-
FÜHRUNGEN UNTER HOHEN ELEKTRISCHEN
FELDSTÄRKEN**

title
**INVESTIGATION OF THE BORDER AND EDGE
AREA IN HIGH VOLTAGE BUSHINGS UNDER
HIGH ELECTRICAL FIELD STRENGTH**

Bei der Entwicklung von trockenen Hochspannungsdurchführungen ist eines der wichtigsten Designkriterien die elektrische Festigkeit des Randbereichs der Steuerbeläge zu erhöhen. Durch Einbringen von Nebenisolierstoffen soll die elektrische Eigenschaft im Randbereich der Steuerbeläge verbessert werden. Die Untersuchungen sind zweigeteilt, zum einen wurden theoretische Feldberechnungen durchgeführt und zum anderen Teilentladungsmessungen bei 50 Hz

In the development of high voltage bushings the border and edge areas of the conduct (e.g. aluminium foil) are known as the weak point regarding the electrical behaviour. The geometry of the design results in air inclosing voids which are called the triple point. They are located between the aluminium and insulation film. To optimize the electrical properties at the border areas of the conduct, the voids are filled with insulation materials. Test



Feldverteilung im Randbereich der Alufolie: ohne Luft einschüsse im Silikongel (unten links), mit einem Luft einschluss im Silikongel (unten rechts).
Electric field distribution at the border and edge area with silicone gel: without air bubble in silicone gel (lower left); with an air bubble in silicone gel (lower right).

Wechselspannung. Dafür wurden entsprechende Testkörper entwickelt und hergestellt. Plastikfolie wurde als Hauptisoliertstoff verwendet. Silikongel und Silikongel-Verbindungen wurden als Nebenisoliermaterialien im Randbereich eingesetzt.

Das Ergebnis der Simulation zeigt, dass durch Einbringen der Nebenisolierstoffe die maximale Feldstärke am Randbereich stark reduziert werden kann. Jedoch zeigt das Ergebnis der Teilentladungsmessungen, dass die Nebenisolierstoffe die Teilentladungseinsetzspannung am Randbereich nicht erhöht haben. Die Ursache liegt vermutlich an Fehlstellen, wie z.B. Luft einschlüsse im gefüllten Randbereich. Um die Auswirkungen der Nebenisolierstoffe am Randbereich weiter zu untersuchen, ist die wichtigste Aufgabe fehlerstellenfreie Prüflinge herzustellen. Dies stellt eine besondere Herausforderung für die Produktionstechnik dar.

specimen were developed and produced for the investigation. Plastic film was used as insulation film. Silicone gel and silicone compounds were filled in the border- and edge areas of the aluminium foil. The investigation includes the Simulation of the electric field distribution and the maximal field strength of the test samples with different filling materials in the triple point as well as partial discharge tests at 50 Hz AC.

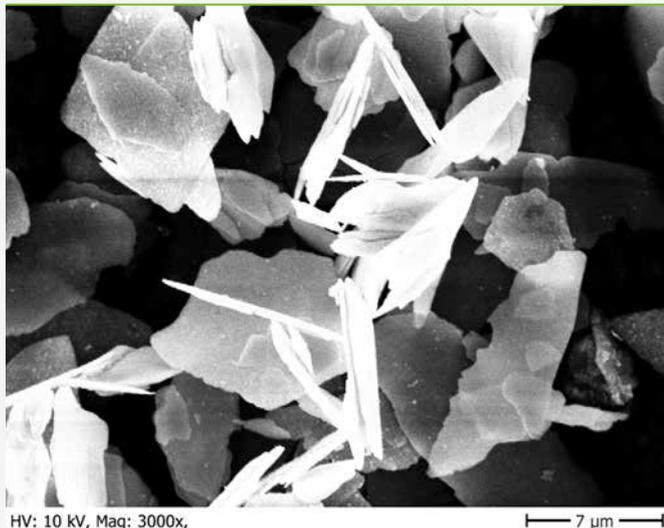
The results of the simulation show that silicone gel and silicone compounds can help to decrease the maximal field strength at the border- and edge areas in the test samples. The results of the partial discharge tests show that the insulation materials in border- and edge areas cannot increase the partial discharge inception voltage. It is assumed that remaining voids in the triple point are the reason of the unsatisfying results of the partial discharge test. It is the first important task to produce test specimen free from voids, which is a particular challenge for the manufacturing engineering.

Ansprechpartner

DIPL.-ING. SEBASTIAN WELS (AHT)

Titel

SMART GEL APPLICATION



REM-Aufnahme der metalloxid-beschichteten Glimmerplättchen.
SEM-image of the metal oxide coated mica pigments.

Seit dem Jahr 2001 forscht das Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik im Bereich Silicon-Gele als Isolierstoff für die Hochspannungstechnik. Die Ergebnisse sind u.a. in zwei Dissertationen und zahlreichen Abschlussarbeiten dokumentiert.

Bei konventionellen Isolationsmaterialien kann es durch Lufteinschlüsse, Fremdpartikel, Oberflächenrauigkeiten, usw. zu einer lokalen Erhöhung der Feldstärke kommen. Eine Folge sind Teilentladungen (TE), die durch Degradation des Isolierstoffes mittel- oder langfristig zu einem Versagen der Isolierung führen. Um diese Problematik zu lösen, werden aktuell feldsteuernde Gele untersucht. Diese haben die Eigenschaft, ab bestimmten Feldstärken lokal eine intrinsische elektrische Leitfähigkeit zu entwickeln. Im Normalzustand ist das Material hoch isolierend. Liegt eine lokale Feldstärkeerhöhung vor, so wird das Isolationsmaterial in diesem Bereich halbleitend. Durch die auftretenden Verschiebungsströme erfolgt eine Homogenisierung des hochbelasteten Feldbereiches und Teilentladungen werden verhindert.

Im aktuellen Projekt wird das vielversprechendste Material, Silikon-gel mit Metalloxid beschichteten Glimmerplättchen, weiterentwickelt und für den Einsatz in industriellen Produkten qualifiziert.

Since 2001 the Department of Power Systems and High Voltage Technology undertakes research in the area of silicon gels as an insulating material for high-voltage technology. The results are documented among others in two dissertations and numerous Master theses.

In the case of conventional insulation materials, local increased field strength can occur due to air inclusions, foreign particles, surface roughness, etc. As result partial discharges (PD) degrading the insulating material occurs. This leads to a failure of the complete insulation system in medium or long term. In order to solve this problem, field-controlling gels are investigated. Above critical electrical field strengths, these gels can change their locally intrinsic electrical conductivity. In the normal state, the material is highly insulating. If a local field strength increase takes place, the insulating material in this region becomes semi-conducting. Due to the occurring displacement currents, the high-stressed field region is homogenised and partial discharges are prevented.

In the current project, the most promising material silicone gel with metal oxide coated mica pigments is enhanced and qualified for use in industrial products.





Integrierte
Energiesysteme



Ansprechpartner
PROF. DR. RER. NAT. CLEMENS HOFFMANN (INES)

Titel
**DAS FACHGEBIET INTEGRIERTE ENERGIE-
SYSTEME**

title
INTEGRATED ENERGY SYSTEMS



Integrierte Energiesysteme

Das Fachgebiet "Integrierte Energiesysteme" entwickelt eine Systematik zur Transformation bestehender Energieversorgungssysteme, bei der die Bedingungen einer zukünftigen Kompatibilität mit den Umweltbereichen Atmosphäre, Biosphäre und Hydrosphäre erfüllt werden. Diese Systematik wird vom Fachgebiet auf zwei wesentliche Themenfelder angewandt, nämlich auf die Energiewirtschaft und auf die Energiesystemtechnik.

Im Feld der Energiewirtschaft werden Modelle für eine Systembeschreibung entwickelt und deren statisches und dynamisches Verhalten durch Einsatz mathematischer Methoden untersucht. Insbesondere werden Optimierungsmethoden angewandt um bestmögliche Entwürfe zukünftiger Energiesysteme zu identifizieren. Die Modelle umfassen sowohl die technischen, als auch die betriebs- und volkswirtschaftlichen Aspekte zukünftiger Energiesysteme. Die Ergebnisse der Berechnungen werden schließlich in Handlungsempfehlungen für technische Entwürfe umgesetzt, aber auch für politische Konzepte der Gesetzgebung zur Regulierung und zum Marktdesign herangezogen.

Die Energiesystemtechnik ist der Technikbereich des Energiesystems, der zwischen den Technologien der Erzeugung und des Verbrauchs vermittelt. Dazu gehören einerseits die elektrischen Netze, die Wärme- und Gasnetze, aber auch die Kommunikationsnetze, welche die für den Betrieb eines Energieversorgungssystems relevanten Informationen übertragen. Schließlich gehört in den Bereich der Energiesystemtechnik auch die Automatisierung auf der technischen Ebene und auf der Ebene der Geschäftsprozesse.

The department „Integrated Energy Systems“ develops systematic approaches for the transition of existing energy systems such that this transition conforms to future environmental demands of the atmosphere, the biosphere and the hydrosphere. The two research foci of the department are Energy Economics and Energy System Technology.

In the Energy Economics focus, models for the mathematical description of energy systems are developed, and the static and dynamic behaviour of the system is investigated. By using optimization methods that take into account technical constraints as well as micro economic and macro economic aspects optimum designs of future energy systems are identified. From these optimization results, we identified recommended actions for the stakeholders, technical designs and recommendations for legislation and market regulations.

Energy System Technology considers the technological aspects of the energy system that mediate between energy generation and energy consumption. These encompass the energy transporting grids for electricity, heat and gas, but also the communication grids that carry the information required for the operation of the energy system. Lastly, automation of technological components and automation of the business processes are part of the Energy System Technology research.



Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann

Das Fachgebiet bietet folgende Lehrveranstaltungen an:
The following courses are offered by the department:

▪ Systemtheorie der Energiewende	Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann
▪ Informations- und Kommunikationsstrukturen in der Energiewirtschaft	Dr.-Ing. Reinhard Mackensen
▪ Standortbewertung für Windenergieanlagen	Dr.-Ing. Doron Callies, Dipl.-Geoökol. Lukas Pauscher
▪ Windenergie als Teil des Energieversorgungssystems	Hon.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Rohrig



Ansprechpartner
 PROF. DR. RER. NAT. CLEMENS HOFFMANN (INES)

Titel
**KOPERNIKUS-PROJEKT ENavi:
 SYSTEMINTEGRATION**

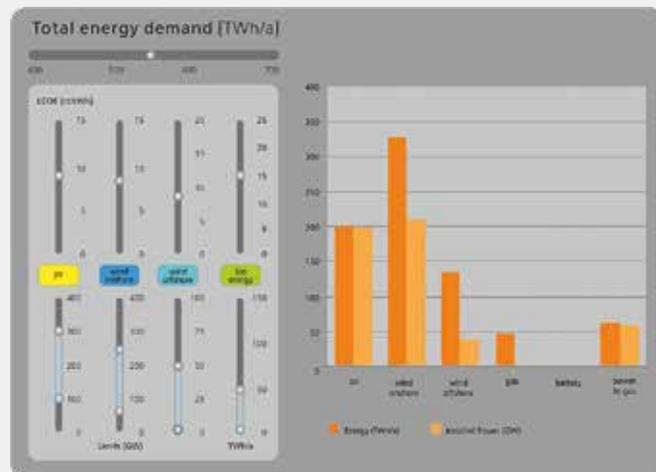
title
**KOPERNIKUS-PROJECT ENavi: SYSTEM
 INTEGRATION**

Design sketch for a tool that allows finding the most cost-efficient fully-renewable system as a function of technology costs and boundary conditions. The algorithmic implementation and result verification will be done in the ENavi project.

Die Transformation der deutschen Energieversorgung hin zu einem CO₂-freien Energieversorgungssystem ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern muss als gesamtgesellschaftlicher Prozess verstanden werden. Neben den technischen Herausforderungen an die Zuverlässigkeit des Systems müssen die Umweltverträglichkeit, die Wirtschaftlichkeit, die Sozialverträglichkeit und die politische Umsetzbarkeit des Transformationsprozesses beachtet werden. Im Forschungsprojekt ENavi erforschen mehr als 60 Partner aus verschiedenen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen gemeinsam, welche Handlungsoptionen zur Umsetzung der Energiewende zur Verfügung stehen und welche Auswirkungen diese auf die verschiedenen gesellschaftlichen Bereiche haben. Ziel ist die Entwicklung eines „Navigationssystems für die Energiewende“.

Das KDEE untersucht im Projekt die Möglichkeiten, die sich durch eine zunehmende Digitalisierung der Energiewirtschaft ergeben. Insbesondere wird untersucht, welche Möglichkeiten die geplante Einführung intelligenter Stromzähler für den automatisierten direkten Stromhandel zwischen Erzeugern und Verbrauchern bietet. Dazu werden Zukunftsszenarien des Stromhandels in Computersimulationen abgebildet und untersucht.

In einem zweiten Arbeitspaket wird untersucht, in welchem Umfang techno-ökonomische Systemanalysen automatisiert und bezüglich ihrer Berechnungszeit beschleunigt werden können. Ziel ist die Entwicklung von mathematischen Modellen und Algorithmen für Expertensoftware. Diese soll es Akteuren in den verschiedenen, für die Energietechnik relevanten Bereiche ermöglichen, einfach und schnell die technischen und wirtschaftlichen Implikationen möglicher Handlungsoptionen abzuschätzen.



The transformation towards a carbon-dioxide free German energy system is not just a technological challenge. In fact, it has to be understood as a process that encompasses all of society. In addition to the technological sector, environmental aspects, economic viability, social effects and the political feasibility have to be taken into account. In the research project ENavi more than 60 partners from science, society and the economy jointly investigate the possible courses of action available for the German energy transition and their implications. Ultimately, the project's ambition is to create a "navigation system" for the energy transition.

Within the project, KDEE investigates the effects and business opportunities arising from an increased degree of digitalisation in the energy sector. In particular, the opportunities for automated electricity trade between producers and consumers will be investigated, which are stimulated by the scheduled German Smart Meter rollout. To this end, future scenarios of electricity trade will be modeled and investigated by means of computer simulations.

In a second work package, the KDEE investigates the extent to which techno-economical system analyses can be automated and how a higher level of computational performance can be achieved. The newly-developed methods are to be used in expert systems that enable the stakeholders to quickly assess the technological and economic implications of possible courses of action.

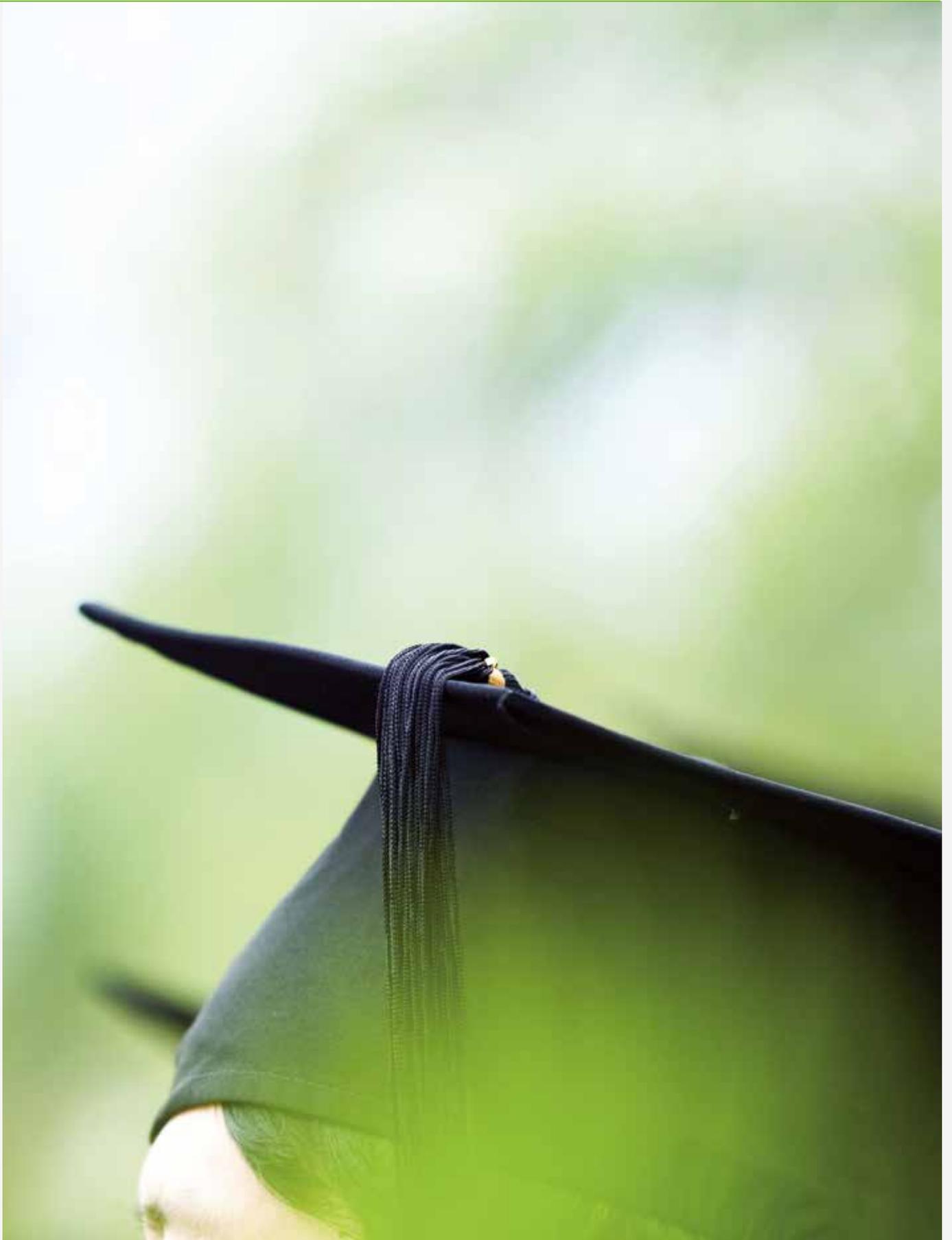
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
 für Bildung
 und Forschung

Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03SFK4F1





2015/2016

ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN

DR.-ING. DARIO LAFFERTE

title

AUSWIRKUNGEN DER NETZINTEGRATION VON WINDKRAFTANLAGEN AUF DIE SPANNUNGSSTABILITÄT IM NÖRDLICHEN VERBUNDSYSTEM CHILES



Dario Lafferte

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias, Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi, Universität Kassel

Tag der Disputation: 07. Mai 2015

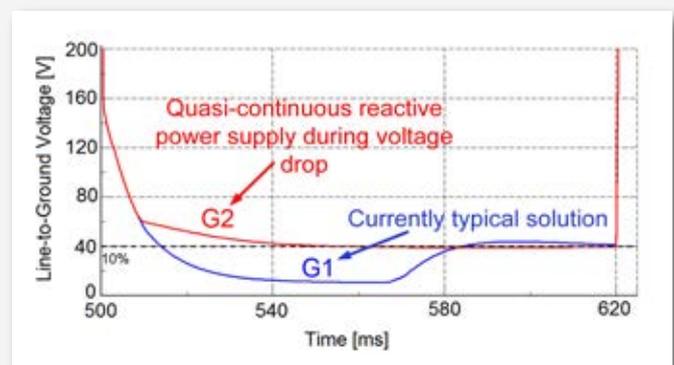
Zusammenfassung

Das nördliche Verbundsystem Chiles (SING) ist ein überwiegend thermisches System mit einer longitudinalen Struktur aufgrund der Landesgeografie, welche verschiedene Herausforderungen für die Netzstabilität mit sich bringt. Das SING versorgt den Kupferbergbau, dessen hoher Energiebedarf durch ausländische bzw. fehlende fossile Energieträger gedeckt wird, sodass eine Reduktion der importierten Ressourcen und eine Diversifizierung des Energiemixes durch eigene erneuerbaren Energiequellen ökonomisch und strategisch sinnvoll sind. Diese Arbeit untersucht die Netzintegration von Windkraftanlagen (WKA) in das SING und deren Auswirkung auf die Spannungsstabilität. Die zweckmäßigen Windstandorte befinden sich auf bedeutenden Höhen und somit erhöht sich das Ausfallrisiko der Leistungselektronik aufgrund kosmischer Höhenstrahlung. Ein liberalisierter Erzeugungsmarkt und der Grid-Code erfordern kostengünstige WKA, die Fehler durchfahren und die Netzspannung stützen können. Doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren (DFIG) sind fähig Fehler zu durchfahren, benötigen weniger Halbleiterelemente und sind kostengünstiger als Alternativen mit Vollumrichter.

Das SING-Modell wurde in DlgSILENT PowerFactory implementiert. Die WKA-Netzintegration wurde sowohl im Fehlerfall als auch bei Veränderungen der Belastung und Erzeugung simuliert. Zudem wurde der Einsatz des Crowbar-Rotorschutzes von DFIG zur Bereitstellung von Blindleistung im Fehlerfall optimiert, sodass eine quasi-kontinuierliche Blindleistungsunterstützung erzielt werden konnte. Ebenfalls wurde der Einfluss der Crowbar-Parameter ermittelt und die maximale mögliche Windkrafteinpeisung in das SING untersucht.

Summary

The Chilean Northern Interconnected Power System (SING) is a highly predominant thermoelectric system with a longitudinal structure due to the country's geography, bringing different challenges for the grid stability. The SING powers the copper mining industry, whose high power demand is covered through foreign and missing fossil energy sources, so that a reduction of these imported



Leiter-Erde-Spannung der WKA G1 und G2 während eines dreiphasigen Kurzschlusses:

Obwohl beide WKA den Fehler durchfahren, erfüllt G1 die Grid-Code-Anforderungen nicht.
Line-to-ground voltage of WEC G1 and G2 during a three phase short circuit: Although both WEC can ride through the grid fault, G1 does not fulfil the Grid Code requirements.

resources and an energy matrix diversification through own renewable sources are economic and strategic appropriate. This work analyses the integration of wind energy converters (WEC) into the SING and their impact on voltage stability. Appropriate wind locations are situated at considerable heights and consequently the failure risk of power electronic devices increases due to the influence of cosmic rays. A deregulated generation market and the grid code require cost-efficient WEC, which are capable of riding through grid faults and supporting the voltage. Double fed induction generators (DFIG) fulfil fault ride through requirements, they need less semiconductor elements and have low investment costs compared with full-scale converter alternatives.

The Sing model was implemented in DlgSILENT PowerFactory. The wind power integration was simulated during faults and at quick changes of loads and generation. Furthermore, the application of the crowbar rotor protection of DFIG has been optimised to provide reactive power during faults, so that it was possible to achieve a quasi-continuous reactive power support. Likewise, the influence of the crowbar parameters was determined and the maximal feasible wind power feeding into the SING was evaluated.

DR.-ING. JIE LIU

title

INVESTIGATION OF MULTIPHASE POWER CONVERTER USING INTEGRATED COUPLED INDUCTOR REGARDING ELECTRIC VEHICLE APPLICATION**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel**Zweitgutachter:** Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz,
Universität Kassel**Tag der Disputation:** 03. Juni 2015

Jie Liu

Zusammenfassung

Die Herausforderungen der CO₂-Emissionsreduzierung und das Erreichen des Emissionsziels bis 2050 sind zu einer wichtigen Entwicklungsstrategie der Energieverteilung für jedes Land geworden. Die Automobilindustrie verfolgt, als erheblicher Teil des Energiebedarfs, zahlreiche Forschungsansätze, um den Energiebedarf und die Kundenanforderungen zu erfüllen. Moderne Energie sollte sauber, grün und erneuerbar sein. Kundenanforderungen stehen dem mit Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und einer langen Lebensdauer gegenüber.

Eine der am häufigsten verwendeten Konverter-Topologien ist ein Mehrphasen-Interleaved-Leistungswandler. Dies liegt vor allem an den Vorteilen hinsichtlich des dynamischen Ansprechverhaltens, des hohen Wirkungsgrads und der kompakten Baugröße. In der Arbeit von Jie Liu werden Ansätze zum Bau magnetischer Komponenten für diese Wandlerarten untersucht. Aufgrund der geringen Komponentenanzahl, der hierdurch begründeten hohen Zuverlässigkeit und dem dementsprechend hoch ausfallenden Wirkungsgrad wurde für das W-charge-Projekt ein nicht-isolierender Multiphasen-Interleaved-Wandler ausgewählt. An diesem Wandler wurden Untersuchungen hinsichtlich der Vor- und Nachteile bei Verwendung von optimierten magnetischen Bauelementen durchgeführt. In der Arbeit von Herrn Liu werden vorgeschlagene Aspekte und Ansätze detailliert untersucht und analysiert. Ein digitales Steuerungskonzept für Mehrphasige-Stromrichter für die Elektrofahrzeug-Anwendung wird vorgestellt und eine neuartige Topologie unter Verwendung von magnetischen Bauelementen mit Mehrfachabgriffen wird vorgeschlagen und umfassend betrachtet.

Summary

The challenge of reducing carbon emission and achieving emission target until 2050 has become a key development strategy of energy distribution for each country. The automotive industries, as the important portion of implementing energy requirements, are making some related researches to meet energy requirements and customer requirements. For modern energy requirements, it should be clean, green and renewable. For customer requirements, it should be economic, reliable and long life time.

One of most used converter topology is multiphase interleaved power converter, primarily due to its prominent advantages, which is frequently employed to obtain optimal dynamic response, high efficiency and compact converter size. In this thesis, the core research is to investigate some branched contents in term of issues analysis and optimization approaches of building magnetic component. Because of less components, high reliability, high efficiency and also no special safety requirement, non-isolated multiphase interleaved converter is selected as the basic research topology of founded W-charge project for investigating its advantages and potential branches on using optimized magnetic components. Following, all those proposed aspects and approaches are investigated and analysed in detail in order to verify constrains and advantages through using integrated coupled inductors. Furthermore, digital controller concept and a novel tapped-inductor topology are proposed for multiphase power converter and electric vehicle application.

DR.-ING. MARITA WENDT

Titel

ERMITTLUNG DER VERLUSTLEISTUNGEN IN EINEM SYNCHRON-TIEFSETZSTELLER MIT NIEDERVOLT-GaN-HFETS

Marita Wendt

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Detlev Hackstein,
Fernuniversität Hagen

Tag der Disputation: 21. September 2015

Zusammenfassung

Wenn sich in einem wichtigen Bereich der Elektrotechnik ein neues Halbleitermaterial zu etablieren beginnt, weckt dies einerseits Erwartungen der Wirtschaft und Industrie, andererseits kann es eine erhebliche Herausforderung für die Hersteller bedeuten. Nachdem Gallium-Nitrid erstmalig vor 20 Jahren als Transistor verwendet wurde und seit über einer Dekade serienmäßig in der Hochfrequenztechnik eingesetzt wird, erobert es nun die Leistungselektronik.

Die Arbeit von Marita Wendt basiert auf der Motivation zunächst einen möglichst breit angelegten Überblick des ständig wachsenden Angebotsspektrums zu geben. Nach einer ausführlichen Erläuterung der physikalischen und elektrischen Eigenschaften, werden die jeweiligen Typen beschrieben und im Anschluss tabellarisch zusammengefasst. Das Schaltverhalten der eGaN-HFETs in einem Synchron-Tiefsetzsteller wird untersucht und modelliert. Um die Vorteile der erhöhten Schaltfrequenzen nutzen zu können, erfolgt eine sehr ausführliche Betrachtung der notwendigen magnetischen Komponenten, deren Auswahl- und Verwendungskriterien im Detail untersucht, evaluiert und aufgegliedert werden. Betrachtungen hinsichtlich der Grenzen, die magnetische Bauelemente schnell schaltenden Halbleitern auferlegen, werden durchgeführt. Da die untersuchten Niedervolt-GaN-HFETs quasi kein Gehäuse aufweisen, ist eine korrekte Strommessung nicht realisierbar. Am praktischen Beispiel eines Synchron-Tiefsetzstellers werden zwei experimentelle Methoden entwickelt, mit deren Hilfe die Verlustleistungen in den EPC 2010 eGaN-HFETs ermittelt werden. Anschließend wird das Verbesserungspotential der GaN-Leistungstransistoren erläutert sowie deren Anwendungsbereiche diskutiert.

Summary

When a new semiconductor material is introduced into an important area of electrical engineering this raises expectations of business and industry but at the same time can be a significant challenge for manufacturers. After gallium nitride was used for the first time 20 years ago as a transistor and has been used in radio frequency technology for more than a decade it now conquers power electronics.

The work of Marita Wendt is based on the motivation to give an overview of the constantly growing range of products. After a detailed explanation of the physical and electrical properties the respective types are described and are then summarized in tabular form. The switching behaviour of the eGaN-HFETs in a synchronous buck converter is investigated and modelled. In order to take advantage of the increased switching frequencies, a very detailed overview of the necessary magnetic components, whose selection and usage criteria are examined, is given. The limits imposed on fast-switching semiconductor devices imposed by magnetic components are discussed.

Since the investigated low-voltage GaN HFETs have no housing, a conventional current measurement cannot be realized. In a practical example of a synchronous step-down converter, two experimental methods to determine the power losses in EPC 2010 eGaN HFETs are evaluated. Subsequently, the improvement potential of the GaN power transistors is explained and their application ranges are discussed.

DR.-ING. WEIWEI SHAN

Titel

GAIN-SCHEDULING CONTROL FOR INDIVIDUAL BLADE PITCH CONTROL DESIGN FOR LOAD REDUCTION ON LARGE WIND TURBINES

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Martin Braun,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier,
Universität Kassel

Tag der Disputation: 06. Oktober 2015



Weiwei Shan

Zusammenfassung

Da die Größe der Windenergieanlagen wächst, werden Ermüdungslasten immer wichtiger für die Gestaltung von großen Bauteilen. Damit wachsen Vorteile gezielter Reduktionen von Ermüdungslasten. Dies kann durch eine entsprechende Auslegung eines Windenergieanlagensystems erreicht werden. Die Arbeit untersucht mehrere Methoden für die Gestaltung eines Pitch Control Systems, das die Ermüdungsbelastungen des Turms einer Windenergieanlage aktiv reduziert.

Es wurden drei verschiedene Entwurfsmethoden für die Regelung hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht und diskutiert:

- (1) Klassischer linearer PIO (Proportional Integral Derivative) Reglerentwurf.
- (2) Linearer H -Reglerentwurf basierend auf LMI (Linear Matrix Inequalities) Kriterien,
- (3) Nichtlinearer LPV (Linear Parameter Variant) Reglerentwurf auf basierend auf konvexer Optimierung.

Die Entscheidung, wie man die verschiedenen Ziele gewichtet, hängt von vielen untersuchten Faktoren ab – z. B. Windgeschwindigkeit und Turbulenzverteilung, Kosten für Ersatz und Wartung. Das bedeutet, dass der Kompromiss zwischen der Drehzahlregelung und der Ermüdungslastverringerung für verschiedene Turbinentypen und verschiedene Aufstellungsorte variiert werden kann, z.B. Onshore-Windenergieanlagen und Offshore-Windenergieanlagen.

Summary

As the size of wind turbines is growing, fatigue loads become more and more significant for the design of major structural components, Thus, the benefits of , fatigue load reductions, which can be achieved by appropriate design of a wind turbine control system, are increasing. The Ph.D. work investigates several methods for the design of a pitch control system, which actively reduces the fatigue loads on the tower of a wind turbine.

Three different control design methods have been investigated and discussed regarding their advantages and disadvantages:

- (1) Classical linear PIO (Proportional Integral Derivative) control design.*
- (2) Linear H control design based on LMI (Linear Matrix Inequalities) criteria,*
- (3) Nonlinear LPV (Linear Parameter Variant) control design based on convex optimization.*

The decision how to weight the different objectives depends on many discussed factors – e. g. wind speed and turbulence distribution, cost of replacements and maintenance. That means the tradeoff between the speed control and fatigue load reduction can be varied for different turbine types and different locations – e.g. onshore wind turbines and offshore wind turbines.

DR.-ING. YVES-MARIE SAINT-DRENAN

Titel

A PROBABILISTIC APPROACH TO THE ESTIMATION OF REGIONAL PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION USING METEOROLOGICAL DATA

Yves-Marie Saint-Drenan

**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Martin Braun,
Universität Kassel**Zweitgutachter:** Prof. Dr. Lucien Wald,
MINES ParisTech**Tag der Disputation:** 05. Februar 2016**Zusammenfassung**

Der Upscaling-Algorithmus ist in Deutschland derzeit der übliche Ansatz zur Bewertung der erzeugten PV-Leistung. Dieses Verfahren beinhaltet die räumliche Interpolation der normalisierten Leistung eines Satzes von Referenz-PV-Anlagen, um die Leistungsproduktion durch einen weiteren Satz unbekannter Anlagen zu schätzen. Da in der Literatur nur wenige Informationen über die Leistungsfähigkeit dieser Methode zu finden sind, ist die Analyse der auftretenden Unsicherheiten das erste Ziel der Doktorarbeit von Yves-Marie Saint-Drenan. Hierbei wurde festgestellt, dass dieses Verfahren zu großen Fehlern führen kann, wenn der Satz an Referenz-Anlagen unterschiedliche Eigenschaften oder Witterungsbedingungen aufweist und die Anzahl dieser Anlagen zugleich niedrig ist.

Basierend auf diesen vorläufigen Ergebnissen wird ein alternatives Verfahren zur Berechnung der Gesamtstromproduktion eines Satzes von PV-Anlagen vorgeschlagen. Es wurde ein probabilistischer Ansatz gewählt, durch den eine Stromerzeugung an jeder PV-Anlage aus entsprechenden Wetterdaten berechnet wird. Der probabilistische Ansatz besteht darin, die Leistung für jeden häufig auftretenden Wert der Parameter zu bewerten und den wahrscheinlichsten Wert durch Mittelung dieser durch ihre Häufigkeit gewichteten Leistungswerte zu schätzen. Häufigste Parametersätze (z. B. Modulazimut und Kippwinkel) und deren Häufigkeit wurden auf der Basis einer statistischen Analyse von Parametern von rund 35.000 PV-Anlagen bewertet.

Abschließend wurde die ermittelte Leistung der upscaling und probabilistischen Ansätze auf Basis von 15 min Leistungsmessungen von 715 PV-Anlagen des deutschen Verteilnetzbetreibers LEW Verteilnetz verglichen und die Vorteile des vorgeschlagenen Ansatzes herausgearbeitet.

Summary

In Germany the upscaling algorithm is currently the standard approach for evaluating the PV power produced in a region. This method involves spatially interpolating the normalized power of a set of reference PV plants to estimate the power production by another set of unknown plants. As little information on the performances of this method could be found in the literature, the first goal of the PhD thesis of Yves-Marie Saint-Drenan is to conduct an analysis of the uncertainty associated to this method. It was found that this method can lead to large errors when the set of reference plants has different characteristics or weather conditions than the set of unknown plants and when the set of reference plants is small.

Based on these preliminary findings, an alternative method is proposed for calculating the aggregate power production of a set of PV plants. A probabilistic approach has been chosen by which a power production is calculated at each PV plant from corresponding weather data. The probabilistic approach consists of evaluating the power for each frequently occurring value of the parameters and estimating the most probable value by averaging these power values weighted by their frequency of occurrence. Most frequent parameter sets (e.g. module azimuth and tilt angle) and their frequency of occurrence have been assessed on the basis of a statistical analysis of parameters of approx. 35.000 PV plants.

Finally the performances of the upscaling and probabilistic approaches have been compared on the basis of 15 min power measurements from 715 PV plants provided by the German distribution system operator LEW Verteilnetz proving the benefits of the proposed approach.

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING

Titel

PV-STROMRICHTER HÖHERER LEISTUNG FÜR 1.500V SYSTEMSPANNUNG: BEWERTUNG, VERGLEICH UND REALISIERUNG

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann,
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Tag der Disputation: 22. Februar 2016



Christian Nöding

Zusammenfassung

Die Überdimensionierung der installierten PV-Modulleistung im Vergleich zur Wechselrichterleistung, als auch die Preisentwicklung von Komponenten führt dazu, dass Hersteller von der sonst üblichen 1.000V Systemspannung abrücken und den Einsatz von 1.500V Systemen prüfen. Christian Nöding beschäftigte sich aus diesem Grund in seiner Dissertation mit den hieraus resultierenden technischen Problemen und erarbeitete Lösungen für eine technische Realisierung.

Neben Grundlagen zu Wechselrichtersystemen werden in seiner Arbeit Bewertungs- und Vergleichsmethoden für leistungselektronische Schaltungen betrachtet und ein neu entwickeltes Softwarepaket zur Vermessung und Bewertung von IGBTs, MOSFETs und Dioden vorgestellt.

Da für 1.500V Systemspannung herkömmliche 1.700V Silizium-Halbleiter nicht ausreichend sind, wird zudem eine Serienschaltung bestehend aus zwei 1.200V Halbleiter detailliert betrachtet und Lösungen für die hierbei auftretenden technischen Probleme erarbeitet. Bekannte und neu entwickelte Methoden zur symmetrischen Spannungaufteilung werden aufgezeigt und untersucht. Zudem wird eine Kombination verschiedener Methoden als Lösung für den Betrieb bei 1.500V Systemspannung empfohlen und anhand experimenteller Untersuchungen in der Wirkungsweise geprüft.

Summary

The over-dimensioning of the combined power of installed PV modules in comparison to the available inverters as well as the trend of component prices leads to PV plant operators receding from the usual 1.000V systems and assessing alternatives with 1.500V. In his dissertation, Christian Nöding investigated the resulting technical problems and developed solutions for technical applications.

Besides basic principles of inverter systems, assessment and comparison methods regarding power electronic circuitry are being examined and a new software suit for the characterization and the assessment of IGBTs, MOSFETs and Diodes is introduced.

As common 1.700V silicon semiconductors are not sufficient for 1.500V systems, a serial application of two 1.200V semiconductors is considered in detail and solutions for the resulting technical problems are presented. Established methods as well as newly developed approaches to symmetrise the voltage load are being explained and investigated. One particular combination out of several methods is being presented and recommended as a solution for the operation at 1.500V, supported by experimental analysis of their operation.



Martin Roch

Zusammenfassung

Elektromagnetische Schienenbeschleuniger verwenden elektrische Energie für die Beschleunigung von trägen Massen und erreichen Geschwindigkeiten $>2\text{km/s}$, die mit konventionellen Beschleunigungstechnologien nur mit hohem Aufwand erreicht werden können.

Die einfachste Konfiguration eines solchen Beschleunigers besteht aus zwei Schienen aus leitfähigem Material, die über eine gleitende Strombrücke elektrisch miteinander verbunden sind, so dass die Lorentz-Kraft die Kurzschlussbrücke bewegen kann. Um eine Verringerung des elektrischen Stroms in der Strombrücke zu erzielen, ohne die Beschleunigungskraft zu reduzieren, kann ein zusätzliches Magnetfeld zwischen den Schienen hinzugefügt werden.

Um einen solchen magnetfeldverstärkten Beschleuniger zu untersuchen ist der modulare, magnetfeldverstärkte, mehrstufige elektromagnetische Beschleuniger (MASEL) konstruiert, aufgebaut und getestet worden. Externe Spulen sind in dem Beschleuniger integriert um eine Verstärkung des Magnetfeldes zu erzielen. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Versuchsaufbaus sind zuvor mit verschiedenen Simulationen berechnet und optimiert worden.

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Markus Jan Löffler,
Westfälische Hochschule

Tag der Disputation: 21. März 2016

Summary

Electromagnetic accelerators use electrical energy to accelerate projectiles to large velocities above 2 km/s . A simple electromagnetic launcher consists of two rails, which are connected by a sliding armature in between them. Applying an electric current to the rails and the armature leads to a magnetic field in between the rails. The magnetic field together with the electric current in the armature leads to an accelerating Lorentz-force, acting on the armature.

To decrease the electric current through the armature without decreasing the accelerating force on the projectile, an additional magnetic field can be applied in between the rails of the launcher.

In order to study electromagnetic launchers with a magnetic field augmentation, the modular augmented staged electromagnetic launcher (MASEL) is designed, built and tested. This augmented launcher uses two external coils with up to four windings each, to produce a large additional magnetic field. The mechanical and electrical properties of the setup are calculated using different simulations. The results of the simulations are used to improve the structure of the launcher. The experimental setup of the MASEL allows to study multiple different configurations.

DR.-ING. MICHAEL SCHREIBER

Titel

DESIGN VARIABLER ENERGIE- UND LEISTUNGSPREISKOMPONENTEN VON STROMTARIFEN ALS ANREIZ FÜR EIN SYSTEMDIENLICHES ENERGIEMANAGEMENT FLEXIBLER VERBRAUCHER IN HAUSHALTEN

Erstgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Dr. Reinhard Mackensen,
Fraunhofer IWES

Tag der Disputation: 06. Juli 2016

Zusammenfassung

In einem System sehr hoher Verbrauchsspitzen erhöhen Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge von Haushaltskunden auf der Verbraucherseite den Anteil der Energie, der auf der Niederspannungsebene entnommen wird. Wird diesen Kunden ein geeigneter Anreiz für eine systemdienliche Anpassung ihres Energieverhaltens geboten, so können deren Flexibilitätsoptionen auf das dezentrale und fluktuierende Dargebot reagieren und zu einem wichtigen Werkzeug bei der Integration der erneuerbaren Energien werden, ohne dabei die Stromnetze zu überlasten.

In dieser Arbeit werden die Auswirkungen verschiedener Designs von Stromtarifen untersucht und bewertet, durch die Haushaltskunden die Höhe ihres Energieverbrauchs an der Höhe der Marktpreise ausrichten sollen, ohne zu Zeiten besonders niedriger Marktpreise extreme und systemschädigende Netzentnahmespitzen zu verursachen. Dazu werden Stromtarife aus zeitvariablen Energiepreiskomponenten und leistungsabhängigen Preisbestandteilen kombiniert und durch Zielfunktionen in einer Einsatzoptimierung abgebildet. Die Auswirkungen der Tarifdesigns auf das Energieverhaltensverhalten und die damit verbundenen Kosten bewertet sowie die Ergebnisse mit denen einer zentralen Optimierung durch ein virtuelles Kraftwerk verglichen.

Die Robustheit des Energiemanagements unter dem vorgeschlagenen Stromtarif wird bei veränderten Randbedingungen der Optimierung, wie beispielsweise einem variierten Anteil an flexiblen Kunden, unterschiedlichen Arten von Flexibilitätsoptionen sowie unter Marktpreisen verschiedener historischer und prognostizierter Jahre, untersucht. Dabei zeigt sich, dass der dezentrale Ansatz des variablen Stromtarifs ein ähnlich gutes Optimierungsergebnis hervorruft wie eine zentrale Optimierung durch ein virtuelles Kraftwerk, solange nicht sämtliche Kunden gleichzeitig über eine hohe Flexibilität verfügen und die maximale Netzentnahmeleistung nicht zu stark durch knappe Netzkapazitäten beschränkt werden muss.



Michael Schreiber

Summary

In a system of very high consumption peaks, heat pumps and electric vehicles of household consumers on the consumer side increase the proportion of energy taken from the low voltage level. If these customers are offered a suitable incentive for a systematic adaptation of their energy consumption behavior, their flexibility options can react to the decentralized and fluctuating supply and become an important tool in the integration of renewable energies without overloading the electricity networks.

In this thesis, the effects of different designs of electricity tariffs are assessed by which customers can adjust the amount of their energy consumption at the level of market prices without causing extreme and system-damaging grid peaks at times of particularly low market prices. For this purpose, electricity tariffs are combined from time-variable energy-price components and performance-dependent price components and are represented by target functions in an application optimization. The impact of the tariff designs on the energy consumption behavior and the associated costs as well as the results compared with those of a central optimization by a virtual power plant.

The robustness of the energy management under the proposed electricity tariff is examined under changing conditions of optimization, such as a varied proportion of flexible customers, different types of flexibility options and market prices of different historical and forecast years. This shows that the decentralized approach of the variable power tariff results in a similarly good optimization result as a central optimization by a virtual power plant as long as not all customers at the same time have a high flexibility and the maximum grid removal capacity does not have to be restricted too much by narrow network capacities.

DR.-ING. THIEMO KLEEB

Titel

INVESTIGATION ON PERFORMANCE ADVANTAGE OF FUNCTIONALLY INTEGRATED MAGNETIC COMPONENTS IN DECENTRALISED POWER ELECTRONIC APPLICATIONS

Thiemo Kleeb



Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Schulz,
Helmut-Schmidt-Universität
Universität der Bundeswehr Hamburg

Tag der Disputation: 02. September 2016

Zusammenfassung

Die funktionelle Integration magnetischer Komponenten ist eine bekannte Technik zur Leistungsdichteerhöhung von leistungselektronischen Wandlern. Magnetische Bauteile sind in vielen leistungselektronischen Konvertern obligatorisch und eine Vielzahl an Topologien erfordern mehr als ein magnetisches Bauteil. Die funktionelle Integration magnetischer Bauteile erlaubt daher die Kombination einer Vielzahl magnetischer Funktionen innerhalb eines Bauteils. Diese Technik verspricht niedrigere Gesamtvolumina, Verluste und Kosten ohne die Schaltfrequenz der Halbleiterschalter erhöhen zu müssen.

Eine zentrale Fragestellung dieser Dissertation stellt die Untersuchung der Leistungsvorteile funktionell integrierter magnetischer Bauteile im Vergleich zu diskreten Bauteilen dar. Viele Anwendungen erlauben den Einsatz einfacher magnetischer Strukturen und Standard-Kernen, sowie Modifikationen dieser Komponenten (z.B. Fluss-Verteilung), um das gewünschte Verhalten der Komponenten zu erhalten. Die in der Arbeit vorgestellten Designrichtlinien erlauben die Auslegung von funktionell integrierten magnetischen Bauteilen mit überschaubarem Aufwand und somit die Anwendung von Bauteilen, die eine überragende Leistung hinsichtlich ihrer Größe und Verlustleistung für die jeweilige Anwendung bieten.

Summary

The functional integration of magnetic components is a known technique in order to enable high power densities for power electronic converters. Magnetic components are mandatory in many power electronic converters and many topologies demand more than one magnetic component. Therefore, the functional integration of magnetic components allows realising several magnetic functions within one component. This technique promises lower total size, losses and costs without switching frequency increase. There are several examples in the literature for coupled inductors, common-differential-mode chokes or transformer-inductor components.

One centralised question of this work is to explore the performance advantage of functionally integrated magnetic components in comparison to discrete components. Many applications allow the introduction of simple magnetic structures and standard cores or simple modifications of these (flux bypasses) in order to enable the required component behaviour. The design guidelines introduced in this work enable the design of functional integrated magnetic components with limited effort and, therefore, the application of components which enable superior performance regarding size and power loss for the applications.

DR.-ING. KASPAR KNORR

Titel

MODELLIERUNG VON RAUM-ZEITLICHEN EIGENSCHAFTEN DER WINDENERGIEEINSPEISUNG FÜR WETTERDATENBASIERTE WINDLEISTUNGSSIMULATIONEN

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann,
Universität Kassel

Tag der Disputation: 05. September 2016



Kaspar Knorr

Zusammenfassung

Es werden in der Dissertation statistische und mathematisch-physikalische Modelle zur Quantifizierung heutiger und zur Abbildung zukünftiger raum-zeitlicher Charakteristiken der Windenergieeinspeisung vorgestellt.

Hierzu zählen Modelle für die Quantifizierung der räumlichen Verteilung von installierten Windleistungen, die Bestimmung der mittleren Nabenhöhen von Windparks, die Erstellung von Zukunftsszenarien des Windenergieausbaus, das Einsetzen von Windgeschwindigkeitsfluktuationen in gegebene Windgeschwindigkeitszeitreihen, die Modellierung der intermittenten Häufigkeitsverteilungen von Windleistungsinkrementen, die Aufbereitung der Leistungskennlinien von Windenergieanlagen, die Erstellung von Windpark-Leistungskennlinien und die Modellierung der gegenseitigen Abschattungen von Windenergieanlagen innerhalb von Windparks.

Die Modelle werden zu wetterdatenbasierten Windleistungssimulationsverfahren zusammengesetzt, die zur Generierung von Zeitreihen der Windenergieeinspeisung dienen.

Summary

The thesis describes statistical and mathematical models for the quantification of today's and the representation of future characteristics of the wind power generation in time and space.

These models serve particularly for the quantification of the spatial distribution of installed wind power capacities, the calculation of the average hub heights of wind farms, the development of wind energy scenarios, the inserting of wind speed fluctuations into given wind speed time series, the modeling of the intermittent probability density functions of wind power increments, the processing of the power curves of wind turbines, the generation of power curves of wind farms and the modeling of wake effects between wind turbines within wind farms.

The models are combined to create wind power simulation procedures for the generation of time series of the wind power generation based on weather data.

DR.-ING. DOMINIK GEIBEL

Titel

BEREITSTELLUNG VON ZUSATZFUNKTIONALITÄTEN DURCH MULTIFUNKTIONALE PV-BATTERIE-STROMRICHTERSYSTEME IN VERTEILUNGS- UND INDUSTRIENETZEN



Dominik Geibel

Zusammenfassung

Die bisher passiven Netze der MS- und NS-Ebene des Verteilungsnetzes müssen zu aktiven Netzen transformiert werden, um die Energieeinspeisung auf allen Netzebenen zu beherrschen.

Die Notwendigkeit dieser Anstrengungen ergibt sich aus der schon heute bestehenden Herausforderungen der Netzintegration von erneuerbaren Energien. Aktuell liegt die Spitzenlast in Deutschland bei etwa 80GW, die Mindestlast bei etwa 40GW. Zeitweise wird der Lastbedarf schon zu über 50% aus erneuerbaren Energien gedeckt. Neben dem großen Zuwachs der Windenergie seit dem Jahr 2000, steigt die installierte Leistung aus Photovoltaik seit 2006 ebenfalls stark an. Aufgrund der Anlagenleistung werden Windenergieanlagen meist im MS-Netz oder in höheren Netzebenen angeschlossen. Der Anschluss von PV-Anlagen erfolgt meist im NS- und MS-Netz. Bei leistungsstärkeren PV-Parks wird der Anschluss jedoch auch in höheren Netzebenen notwendig.

Folglich ergeben sich hinsichtlich der Netzintegration erneuerbarer Energien unterschiedliche Handlungsschwerpunkte, die in der Arbeit beschrieben werden. Auf einige ausgesuchte Punkte, die vornehmlich das Mittelspannungsnetz und Niederspannungsnetz betreffen, wird detaillierter in theoretischen Ansätzen und praktische Ergebnisse aus Projekten in der Arbeit eingegangen.

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,
Universität Kassel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel,
Technische Universität Braunschweig

Tag der Disputation: 06. September 2016

Summary

The up to now passive distribution MV and LV networks must be transformed into active networks to handle the power delivery to the grids at all voltage levels.

The need for these efforts is due to the already existing challenges of grid integration of renewable energies. Currently the peak load in Germany is around 80GW. The minimum load is about 40GW. At times the load requirement is already covered by more than 50% of renewable energies. In addition to the large increase in wind energy since 2000, the installed power from photovoltaics is increasing since 2006 strongly. Due to the plant's installed power, wind turbines are usually connected to the MV network or at higher voltage levels. PV systems are mostly connected to LV and MV networks. For more powerful PV parks connection is also usual to higher network levels.

As a result, the integration of renewable energies requires different areas of action, which are described in the work. A few selected points, which mainly concern the medium-voltage and low-voltage networks, are investigated more in detail within the thesis in theoretical approaches and practical results from projects.

DR.-ING. UWE ABRAHAM HOLZHAMMER

Titel

**BIOGAS IN EINER ZUKÜNFTIGEN ENERGIEVERSORGUNGSTRUKTUR MIT HOHEN ANTEILEN
FLUKTUIERENDER ERNEUERBARER ENERGIEN**

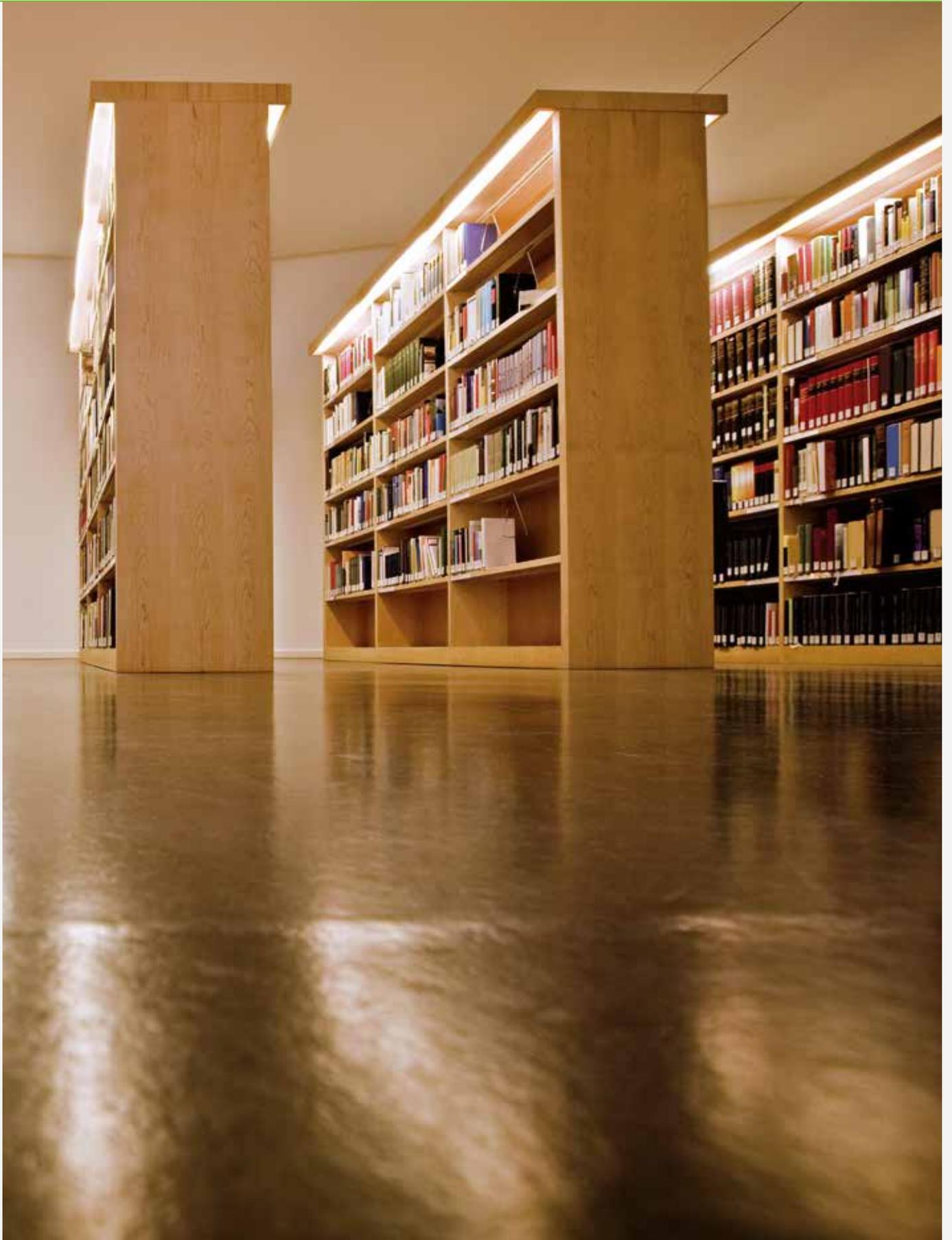
Erstgutachter: Prof. Dr. M. Nelles,
Universität Rostock

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann
Universität Kassel

Tag der Disputation: 25. September 2015



Uwe Abraham Holzhammer



DOKUMENTATION

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Al-Hamidi, Abdulrahman	Resonante Bordnetzrichter für Automotive Applikationen	Zacharias
Diplom I	Alhassan, Ali	Untersuchung der Strom-Spannungs-Hysterese von nichtlinearen Isolierstoffen	Claudi, Zacharias
Diplom I	Alsehli, Mansour	Stand der Technik und Anwendungen der Hochspannungsdurchführungen	Claudi, Zacharias
Diplom I	Angersbach, Christian	Detektion von venösen Nadeldiskonnektionen mittels Impedanzanalyse	Lehmann, Zacharias
Bachelor	Beikirch, Niclas	Untersuchungen des Verlustfaktors und der Kapazität von Modelldurchführungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperaturen und Luftfeuchten	Claudi, Zacharias
Master	Berens, Patrick	Darstellung und Bewertung von Systemen zur Überprüfung der Magnetisierung permanenterregter Synchronmaschinen in der E-Motorenfertigung im Volkswagen Werk Kassel	Zacharias
Projektarbeit	Bollbach, Markus	Low-Budget Energieversorgung	Betreuer: Käbisch
Bachelor	Bröschel, Martin	Analyse und Optimierung der Energieversorgung im Bereich der Rohschokoladenherstellung in Bezug auf Ausfallsicherheit	Zacharias
Bachelor	Christen, Johannes Paul	Realisierung einer Einrichtung zur Verarbeitung analoger und digitaler Signale in einem Embedded System zur Nachbildung von Energieerzeugungs- und Lastprofilen	Sick, Zacharias
Projektarbeit	Derksen, Matthias	Untersuchung und Charakterisierung von Kondensatoren hinsichtlich hochfrequenter Anwendungen in der Leistungselektronik	Betreuer: Hinze
Master	Döring, Lars	Einsatz von stationären Energiespeichern in der Energiewende in Deutschland	Zacharias
Diplom I	Doudah, Majed Saleh	Integrierte Planar-Transformatoren für Resonanzrichter	Zacharias
Bachelor	Dreyße, Patrick	Vorteile von hochoeffizienten DC-DC Wandlern in PV-Umrichtern	Zacharias
Projektarbeit	Dreyße, Patrick	Tiefsetzsteller im Niedriglastbereich	Betreuer: Käbisch

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Fereshteh, Sharafi	Auswahl und Dimensionierung einer Ansteuerung für den elektronischen Schutzschalter mit aktiver Strombegrenzung mit Kleinspannung bis 30V-DC	Claudi, Zacharias
Diplom I	Gäbler, Benjamin	Aufbau, Automatisierung und Charakterisierung eines Kalibrierplatzes für elektrische Leistungsmessgeräte	Lehmann, Zacharias
Bachelor	Geißler, Marco	Vergleich von Konzepten zur autonomen Spannungsregelung in Niederspannungsnetzen mit hoher Durchdringung dezentraler Erzeugungsanlagen	Zacharias
Master	Gerisch, Nils	Plausibilisierung von Messdaten aus einem Niederspannungsnetz und Auswertungen zur Photovoltaik-Einspeisung	Braun, Zacharias
Bachelor	Görg, Philip	Analyse der Ertragsverluste von Windenergieanlagen On- und Offshore anhand operativer Betriebs- und Ereignisdaten	Zacharias
Projektarbeit	Görzen, Stefan	Low-Budget Energieversorgung	Betreuer: Käbisch
Master	Grund, Michael	Untersuchungen zur elektrischen Festigkeit von Modelldurchführungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperaturen und Feuchten	Claudi, Zacharias
Bachelor	Grüßing, Soenke	Elektro-thermischer Prüfstand zur Bestimmung von Drosselverlusten	Zacharias
Bachelor	Harms, Yannic	Modellierung eines Brennstoffzellensystems für mobile Anwendung	Zacharias
Projektarbeit	Harms, Yannic	Überarbeitung BZE und Erarbeitung BZ Versuchsstand	Betreuer: Käbisch
Diplom I	Horn, Markus	Brennstoffzellen-Hybrid Prüfstand	Zacharias
Projektarbeit	Humme, Dominik	Überarbeitung BZE und Erarbeitung BZ Versuchsstand	Betreuer: Käbisch
Bachelor	Kallmeyer, Matthias	Experimentelle Untersuchung der elektrischen Eigenschaften verschiedener Isoliermaterialien von Modelldurchführungen	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Kamsties, Sabrina	Kosten eines konventionellen Netzausbaus in Gegenüberstellung mit dem Einsatz von Niederspannungs-Längsreglern	Betreuer: Käbisch

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Kiss, Diána	Aerodynamic Performance Simulation of an Integrated Roof Wind Energy System	Zacharias
Master	Köster, Jasmin	Energiewende 2050 in Deutschland – Analyse möglicher Auswirkungen und Potenziale auf den einzelnen Energieverbraucher unter Betrachtung verschiedener Szenarien	Zacharias
Master	Kougang, Albert Georges	Benchmarking kompakter und effizienter Niederspannungsbordnetzwandler mit Si und GAN Bauelementen	Zacharias
Master	Krauß, Dennis	Bidirektionale HV-LV Bordnetzwanler für Elektrofahrzeuge	Zacharias
Master	Krögerrecklenfort, Jan	Kritische Untersuchung eines mehrstufigen Resonanzprüfsystems unter transientser Spannungsbeanspruchung	Claudi, Zacharias
Diplom I	Krüger, Daniel	Grundlagenuntersuchung der Verbindungstechnik im Zusammenhang der Anforderung von „4-Pin Power over Ethernet“	Zacharias
Master	Langue, Jimmy Christian	Einsatz von elektronisch-magnetischen Stellgliedern zur Blindleistungskompensation	Zacharias
Bachelor	Lehmann, Janis	Entwicklung eines kostengünstigen Differenzstromsensors für PV-Applikationen	Lehmann, Zacharias
Bachelor	Marks, David	Thermische Charakterisierung von induktiven Bauelementen	Zacharias
Projektarbeit	Marks, David	Entwurf und Optimierung eines 50A Synchron-Gleichrichters	Betreuer: Kleeb
Bachelor	Menzel, Robert	Untersuchung der Genauigkeit der Positionslösung der Open Source GNSS-Software RTKLIB in Kombination mit unterschiedlicher Frontend-Hardware	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Metzler, Andreas	Low-Budget Energieversorgung	Betreuer: Käbisch
Master	Moog, Martin	Entwicklung eines skalierbaren Verlustleistungsmodells für Hochspannungs-Gleichstromwandler	Zacharias
Bachelor	Neubauer, Alexander	E-Auto	Zacharias
Projektarbeit	Pepa, Klajdi	Low-Budget Energieversorgung	Betreuer: Käbisch

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2015	Name	Titel	Gutachter
Projektarbeit	Rapp, Josephine	Einzelspannungsüberwachung BZ-Teststand	Betreuer: Käbisch
Master	Richter, Antonio	Evaluierung temperaturfester Materialien für varistorbasierte Überspannungsschutzprodukte	Claudi, Zacharias
Bachelor	Romoth, Klaus-Peter	Optimierung und Validierung eines Dreiphasen-Transformatormodells in Matlab Simulink	Zacharias
Master	Schaake, Christian	Entwurf und Realisierung einer Anordnung zur Ermittlung der Rotorlagerinformation von Synchronmaschinen auf Basis variabler Impedanz	Zacharias
Projektarbeit	Schaumburg, Christian	Simulation einer PFC-Schaltung mit integrierten magnetischen Komponenten und galvanischer Trennung für Netzspannung	Betreuer: Kleeb
Projektarbeit	Schellenberger, Marc	Einzelspannungsüberwachung BZ-Teststand	Betreuer: Käbisch
Diplom I	Schulze, Felix	Simulation und Verifizierung der feldsteuernden Eigenschaften nichtlinearer Materialien	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Sollmaier-Pfeiffer, Nils	Elektrifizierung eines Autos mit Verbrennungsmotor	Betreuer: Käbisch
Bachelor	Stöhr, Tim	Regelung einer Zentralen Waschwasseranlage für den Traktbedarf von Waschwasser	Zacharias
Projektarbeit	Stöhr, Tim	Urban Glow	Betreuer: Käbisch
Master	Tchowompi, Patricia	Untersuchung von Kondensatoren für den Kommutierungskreis	Zacharias
Bachelor	Theimer, Frank Florian	Experimentelle Untersuchung der elektrischen Festigkeit von Modelldurchführungen bei Wechselspannungsbeanspruchung	Claudi, Zacharias
Master	Valov, Maria	Akustisch optimierte Auslegung von Käfigläufer-Asynchronmaschinen für den Einsatz in Elektrofahrzeugen	Zacharias
Bachelor	Volk, Philipp	Optimierung der Vorgehensweise einer angewandten Transferpfadanalyse für Getriebegeräusche im Fahrzeug	Lehmann, Zacharias
Master	Wang, Chao	Vergleich und Validierung mit Messdaten von Simulationsmodellen für die Leistung von PV-Modulen	Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2015	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Welker, Moritz	Entwicklung einer Ansteuerung für den Betrieb eines Wechselrichter-demonstrators mit Hilfe eines RCP-Systems	Zacharias
Projektarbeit	Wiederhold, Eric	Urban Glow	Betreuer: Käbisch
Projektarbeit	Wiemer, Jan	Low-Budget Energieversorgung	Betreuer: Käbisch

2016	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Alhelal, Ammar	Konstruktion und Inbetriebnahme einer Beleuchtung für ein DMD basierend auf einem TIR-Prisma	Zacharias
Bachelor	Banse, Rüdiger	Evaluation der dielektrischen Eigenschaften von Polybutylenterephthalat in Abhängigkeit von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und elektrischer Feldstärke	Zacharias
Master	Bonnet, Fabian	Entwicklung und Implementierung einer Simulationsumgebung zur Regelung und Betriebsführung einer Methanisierungsanlage im Labormaßstab	Zacharias
Bachelor	Brockhaus, Henrik	Entwicklung eines Teststandes zur Untersuchung des Einflusses netzfrequenter Magnetfelder von HV-Freileitungen auf GNSS-Komponenten	Zacharias
Bachelor	Busch, Steffen	Untersuchung verschiedener Ansätze zur Montage des Strahlteilerwürfels in Weißlichtinterferometern	Zacharias
Bachelor	Busch, Steffen	Dispersionsanalyse bei verschiedenen Möglichkeiten der Montage des Strahlteilerwürfels in einem selbstkonstruierten Linnik-Interferometer	Zacharias
Projektarbeit	Cuce, Emrah	Batterietechnik in der Elektromobilität	Betreuer: Käbisch
Master	Fischbach, Kai	Modellentwicklung und Untersuchung der Spannungsstabilität der spannungsabhängigen Wirk- und Blindleistungseinspeisung von Photovoltaik Wechselrichtern	Zacharias
Bachelor	Göbel, Kevin	Kurzschluss und Überlast von Wide-Bandgap Transistoren in Kaskodenschaltung	Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2016	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Grieben, Bastian	Wirtschaftlichkeitsanalyse von Windkraftanlagen	Zacharias
Bachelor	Gühna, Tobias	Gleichberechtigter Betrieb von netzbildenden Invertern	Zacharias
Master	Han, Xiao	Bestimmung von Verlusten in magnetischen Bauelementen bei sinusförmiger Spannungsbelastung	Zacharias
Master	Hellmuth, Torben	A Data-Driven Approach for Estimating the Power Generation of Invisible Solar Sites Based on Numerical Weather Prediction Data	Zacharias
Master	Helmrich, Robert	Untersuchung eines erweiterten Virtual Air Gap-Konzeptes mit Vermeidung von Netzurückwirkungen und Vergleich zu konventionellen Methoden	Zacharias
Bachelor	Hernandez, Diego Alejandro	Optimierung der Freiheitsgrade im Referenzarm eines 100xLinnik-Interferometers unter Berücksichtigung der Modulationstiefe und Dispersion	Zacharias
Bachelor	Keita, Mahamadou	Bereitstellung der Blindleistung zur Spannungshaltung durch Photovoltaikanlagen im Verteilnetz in Deutschland im Vergleich zu Frankreich	Zacharias
Master	Kemnitz, Uwe	Konzept, Implementierung und Test einer Regelung von Groß-Batteriespeichern am Stromnetz zur Erbringung von Primärregelleistung	Zacharias
Projektarbeit	Küster, Pierre	Untersuchung verschiedener Spulen- und Kernanordnungen von Transformatoren für Schaltnetzteile	Betreuer: Wende
Master	Lehmann, Janis	Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten für Planarübertrager und –induktivitäten in Solarwechselrichtern	Zacharias
Projektarbeit	Lindmeier, Michael	Batterietechnik in der Elektromobilität	Zacharias
Master	Lutz, Marc-Alexander	Untersuchung des Betriebsverhaltens und der Zuverlässigkeit von Windkraftanlagen	Zacharias
Bachelor	Mischin, Ksenia	Potenzialanalyse der Onshore-Windkraft in Russland	Zacharias
Master	Pendli, Sandhye	Distribution grid support possibilities by combined heat and power versus heat pump systems	Zacharias
Master	Pfeiffer, Jonas	Elektrische Vormagnetisierung von steuerbaren Induktivitäten und deren Einfluss auf die Kernverluste	Zacharias
Master	Ponter, Alexander	Auswirkungen des dynamischen Verhaltens von PV-Quellen auf mechanische und elektrische Schalter	Zacharias
Master	Rodrigue, Kevin	Geometrien und Spulenanordnungen gekoppelter Drosseln	Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | EVS

2016	Name	Titel	Gutachter
Master	Romoth, Klaus-Peter	Identifizierung von Störgrößen und Dämpfungsmaßnahmen im Kommutierungskreis der Leistungselektronik	Zacharias
Master	Sprunck, Sebastian	Entwicklung, Simulation und Test eines Pedelecs mit hybrider Brennstoffzellen-Batterie-Energieversorgung	Zacharias
Bachelor	Stocker, Jannik	Wiederherstellung des Isolationswiderstands an Unterseekabeln	Zacharias
Master	Tigges, Lasse	Anwendung von agentenbasierten Netzbetriebsführungsstrategien für die optimale Blindleistungsregelung durch dezentrale Generatoren zur Wirkleistungsverlustminimierung und Spannungshaltung auf Mittelspannungsebene	Zacharias
Projektarbeit	Topcagic, Nerina	Regenerative Energie in Kroatien	Betreuer: Käbisch
Bachelor	Wagner, Markus	Analysis of PV System Arc Spectra and Investigation to Reproducibly Create Representative Arcs under Laboratory Conditions	Zacharias
Master	Weide, Johannes Paul		Zacharias
Master	Welker, Moritz	Verfahren zur Schwarzstartfähigkeit von PV-Anlagen	Zacharias
Bachelor	Wiehr, Anne	Verfahren zur Spannungsstabilisierung in PV-Diesel-Hybridssystemen unter Betrachtung verteilter Wechselrichterkapazitäten	Zacharias
Master	Zabala, Koldo	Stability Studies for Off-Shore VSC-HVDC Connected Wind Generation	Zacharias
Master	Zernickel, Eugen	Untersuchung des Einflusses von starken elektrischen Feldern auf Satelliten-Navigations-Komponenten	Zacharias
Master	Zhao, Yi	Anlage zur Meerwasserentsalzung mit Photovoltaischer Energieversorgung Analyse und Bewertung	Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | en 

2015	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Dollihon, Julian Martin	Modellierung, Simulation und Optimierung der Auswirkungen von Elektro-Kfz in Bezug auf Verteilnetz und Systemdienstleistungen	Braun
Bachelor	Gómez Marnell, Jaime Andrés	Technische und wirtschaftliche Simulation eines Hybridsystems zur elektrischen Versorgung in Südpatagonien	Braun
Bachelor	Dipp, Marcel	Bewertung von (n-1)-Sicherheit und optimaler Wiederversorgung für ausgewählte Topologien des Mittelspannungsnetzes	Braun
Bachelor	Ulfers, Jan	Lastannahmen für Ortsnetzstationen zur Dimensionierung von Mittelspannungsnetzen im Rahmen der Planungsgrundsätze der EWE Netz GmbH	Braun
Bachelor	Plettenberg, Tobias	Zustandsschätzung in Niederspannungsnetzen durch den Einsatz von Smart Metern	Braun
Bachelor	Rippien, Anton	Untersuchung zu Kurzschlussstrombeiträgen von PV-Wechselrichtern in Niederspannungsnetzen – Auslegung eines LVRT-Prüfstandes	Braun
Master	Meyer, Franziska	Entwicklung einer Matlab-Funktion zur lokalen statischen Spannungsregelung in agentenbasierten Verteilnetzen am Beispiel eines französischen Testnetzes	Braun
Master	Burgenmeister, B. J.	Investitionsentscheidungen in dezentrale Photovoltaik-Speichersysteme	Braun
Master	Hettrich, Anja	Grid Impact Analysis and Economic Assessment of Market Price-Driven Operation Strategies for Residential PV Storage Systems	Braun
Master	Schiel, Jonas	Test und Optimierung unterschiedlicher Betriebsführungsalgorithmen zur Einspeiseleistungsbegrenzung von PV-Speichersystemen	Braun
Master	Haack, Jonas	Bilevel-optimisation for grid supporting operation of PV-battery systems	Braun
Master	Rauth, Valentin	Optimized Control of Lithium-Ion Battery Ageing	Braun
Master	Knoop, Michael	Erstellung von repräsentativen Solarstrahlungs- und Haushaltslastprofilen zur Performancebestimmung von PV-Batteriesystemen	Braun

2016	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Fischbach, Kai Philipp	Modellentwicklung und Untersuchung der Stabilität der spannungsabhängigen Wirkleistungseinspeisung von Photovoltaik-Wechselrichtern	Braun
Bachelor	Klee, Matthias	Methoden zur robusten Frequenzdetektion im Verbundnetz und Emulation künstlicher Netzträgheit	Braun
Bachelor	Patocs, Tibor	Optimierung der Versorgungsqualität in einem 10-kV-Verteilnetz	Braun
Bachelor	Koch, Martin	Optimiertes Ausfallmanagement für einen Produktionsbetrieb durch Speicherlösungen	Braun
Bachelor	Keita, Mahamadou	Bereitstellung der Blindleistung durch Photovoltaikanlagen zur Spannungshaltung – ein Vergleich zwischen Deutschland und Frankreich	Braun
Master	Gerisch, Nils	Plausibilisierung von Messdaten aus einem Niederspannungsnetz und Auswertungen zur Photovoltaik-Einspeisung	Braun
Master	Kurbjuhn, Phil	Optimierte Platzierung und Dimensionierung von Energiespeichern im Verteilnetz der Westnetz GmbH zur Erstellung von Smart Grid Lösungen	Braun
Master	Mbewou, Georges	Power System Load Modelling for Restoration Studies with DIgSILENT PowerFactory	Braun
Master	Tigges, Lasse	Agentenbasierte Blindleistungsoptimierung zur Spannungshaltung und Wirkleistungsverlustminimierung auf Mittelspannungsebene im Vergleich zu lokaler Blindleistungsregelung	Braun
Master	Zabla, Koldo	Stability Studies for Off-Shore VSC-HVDC Connected Wind Generation	Braun

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | ~~ANT~~

2015	Name	Titel	Gutachter
Diplom I	Alhassan, Ali	Untersuchung der Strom-Spannungs-Hysterese von nichtlinearen Isolierstoffen	Claudi
Diplom I	Alsehli, Mansour	Stand der Technik und Anwendungen von Hochspannungsdurchführungen	Claudi
Bachelor	Curkin, Michael	Untersuchung der Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Prüfsystemen zur Detektion von Teilentladung im Wicklungsisolationssystem einer Synchronmaschine	Claudi
Master	Eckhardt, Jan	Prüfung und Vergleich von Photovoltaik-Steckverbindern unterschiedlicher Hersteller	Claudi
Diplom I	Fehr, Gerald	Ermittlung des Verlustfaktors von Silikongel mit nichtlinearen Eigenschaften in Abhängigkeit der Temperatur	Claudi
Master	Hannes, Nico-Pascal	Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Qualifizierung der Isolierung von Lackdrähten für den Einsatz in Elektromotoren	Claudi
Master	Kafi Mousavi, Seyed Morteza	Entwicklung und Integration einer irreversiblen Hochleistungstrennvorrichtung in den Zündkreis der Funkenstrecken-Technologie FLT-CP-PLUS	Claudi
Diplom I	Kelsch, Paul	Entwicklung eines Standardkonzeptes für intelligente Netzstationssysteme zur Spannungsstabilisierung im Niederspannungsnetz	Claudi
Diplom I	Köhler, Jens	Wechselspannungsverhalten von nichtlinearen Isolierstoffen in Abhängigkeit unterschiedlicher Frequenzen	Claudi
Master	Krögerrecklenfort, Jan	Kritische Untersuchung eines mehrstufigen Resonanzprüfsystems unter transienter Spannungsbeanspruchung	Claudi
Bachelor	Menzel, Robert	Untersuchung der Genauigkeit der Positionslösung der Open Source-Software RTKLIB in Kombination mit unterschiedlicher Frontend-Hardware	Claudi
Master	Richter, Antonio	Evaluierung temperaturfester Materialien für varistorbasierte Überspannungsschutzprodukte	Claudi
Master	Sagebiel, Hannes	Untersuchung von Zündmechanismen für funkenstreckenbasierte Überspannungsableiter	Claudi
Diplom I	Schreiber, Heinrich	Aufbau eines Schubprüfstandes zur Nutzlastoptimierung des UNIKopters	Claudi
Diplom I	Schulze, Felix	Simulation und Verifizierung der feldsteuernden Eigenschaften nichtlinearer Materialien	Claudi

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | ANT

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Sharafi, Fershteh	Auswahl und Dimensionierung einer Ansteuerschaltung für einen elektronischen Schutzschalter mit aktiver Strombegrenzung in 24 V-DC Kleinspannungsnetzen	Claudi
Master	Simon, Christina	Simulation und Analyse eines 0,4 kV – Industrienetzes zur Bewertung der Versorgungssicherheit	Claudi
Master	Tchouanche Djidje, Emile	Evaluierung der Interaktionen mit Metallen und Kunststoffen zu nichtlinear leitenden, Gel basierenden Compounds	Claudi
Bachelor	Theimer, Frank Florian	Experimentelle Untersuchung der elektrischen Festigkeit von Modell-durchführungen bei Wechselspannungsbeanspruchung	Claudi

2016	Name	Titel	Gutachter
Bachelor	Banse, Rüdiger	Evaluation der dielektrischen Eigenschaften von Polybutylenterephthalat in Abhängigkeit von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und elektrischer Feldstärke	Claudi
Bachelor	Beikirch, Niclas	Untersuchungen des Verlustfaktors und der Kapazität von Modelldurchführungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperaturen und Luftfeuchten	Claudi
Bachelor	Dudovcov, Mihail	Entwicklung einer Erneuerungsstrategie für 20 kV-Erdschlusslöschspulen unter Berücksichtigung des vorhandenen Anlagenparks der EnergieNetz Mitte GmbH	Claudi
Master	Grund, Michael	Experimentelle Untersuchungen zur elektrischen Festigkeit von Modelldurchführungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperaturen und Luftfeuchtigkeit	Claudi
Bachelor	Heere, Steffen	Experimentelle Untersuchung elektromagnetischer Korona-Emissionen und Funkenentladungen mittels Software Defined Radio (SDR)	Claudi
Bachelor	Kallmeyer, Matthias	Experimentelle Untersuchung zur Optimierung der Einzelkomponenten sowie der Messmethodik von Modelldurchführungen	Claudi
Bachelor	Mand, Marcel	Entwicklung eines Teststandes zur Untersuchung des Einflusses netzfrequenter Magnetfelder von HV-Freileitung auf GNSS-Komponenten	Claudi
Diplom I	Molinari, Mauro	Messtechnische Einflüsse auf Strommessungen	Claudi
Master	Ponter, Alexander	Auswirkungen des dynamischen Verhaltens von PV-Quellen auf mechanische und elektrische Schalter	Claudi

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | 

2016	Name	Titel	Gutachter
Diplom I	Rüschhoff, Nils Christian	Untersuchung zur elektrischen Festigkeit der Modelldurchführungen in Abhängigkeit von Füllgrad und Zusammensetzung der Nebenisoliermaterialien	Claudi
Bachelor	Stocker, Jannik	Untersuchung einer Methode zur Wiederherstellung des Isolationswiderstandes an beschädigten Unterseekabeln	Claudi
Master	Zernickel, Eugen	Untersuchung des Einflusses von starken elektrischen Feldern auf Satellitennavigations-Komponenten	Claudi
Master	Zhang, Miaojie	Experimental study of the dielectric strength of the model-bushings depending on different voltage waveforms	Claudi

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | 

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Ganal, Helen	Systemischer Vergleich von Speichertechnologien im Wirkungsgrad-/Kapazitätsraum bei einem vollständig regenerativen Energiesystem	Hoffmann, Bard
Diplom	Gawora, Fridolin	Alterung von Lithium-Ionen-Batterien	Hoffmann, Brabetz
Master	Hölsch, Daniel	Konzeptstudie Multilevel-Umrichter – Für die 6,9 kV Spannungsebene	Hoffmann, Strauß
Master	Kitterer, Sabine	Degradationsuntersuchungen an Polypropylen Folienkondensatoren mittels feuchter Wärme und Spannungsbeanspruchung und deren Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Kondensators	Hoffmann, Zacharias
Master	Küthe, Christoph	Windparkplanung für den Ausbau in Nordhessen und Finanzierungsmodelle	Hoffmann, Klein
Bachelor	Linka, Hendrik Sören Erik	Entwicklung einer intelligenten, selbstversorgenden Türüberwachung mit Hilfe von modernen Single - Board Computern	Jonas, Hoffmann
Master	Peters, Cristóbal	Energiewende in Chile: Substitution konventioneller Wärmekraftwerke im Verbundnetzsystem durch Solar- und Windenergieanlagen	Hoffman, Rohrig

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2015 + 2016 | 

2015	Name	Titel	Gutachter
Master	Schnabel, Fabian	Prüfstandskonzept zur kalorimetrischen Verlustleistungsbestimmung magnetischer Komponenten	Hoffman, Strauß
Master	Sondermann, Fabian	Abschätzung des Regelleistungsbedarfs im Jahr 2025 basierend auf einem dynamischen Dimensionierungsverfahren	Hoffman, Rohrig

2016	Name	Titel	Gutachter
Master	Bettermann, Hartmut	Entwurf und Implementierung der Regelung und Betriebsführung einer Leistungsstromquelle auf einem System on a Chip (SoC)	Hoffmann, Meinhardt
Master	Ganal, Irina	Designing of a renewable energy based model for the equatorial region using the example of Java, Indonesia	Hoffmann, Bofinger
Bachelor	Gühna, Tobias	Systemanalyse der Leistungsregelung von netzbildenden Stromrichtern	Hoffmann, Zacharias
Master	Honorato, Miguel Galache	Aggregationsansätze für die Einsatzoptimierung hydraulischer Kraftwerkssysteme im europäischen Strommarkt am Beispiel Spaniens	Hoffmann, Bley
Master	Liu, Tong	Control of an Inductive Charging System for Electric Vehicles	Hoffmann, Marklein
Diplom	Mayer, Jochen	Modellierung des Ausfallverhaltens von Windenergieanlagen	Hoffmann, Rohrig
Master	Meinecke, Steffen	Verteilte Optimierung von Elektroenergiesystemen	Hoffmann, Braun
Bachelor	Säger, Thomas	Modell zur Prognose vereisungsbedingter Leistungsverluste von Windenergieanlagen	Hoffmann, Rohrig
Master	Strecker, Oliver	Automatisierung eines Messplatzes zur Ermittlung von elektrischen und magnetischen Streufeldern an einer induktiven Ladeeinrichtung für Elektrofahrzeuge mit Hilfe von NI LabVIEW	Hoffmann, Marklein
Master	Swid, Maher	Auslegung und Regelung eines 3 MW DFIG Generators für Windenergieanlagen mittels Ansys EM	Hoffmann, Wenske
Master	von Bonin, Michael	Technisch-Ökonomische Bewertung von Übertragungskonzepten für Offshore-Windenergie in der Deutschen Nordsee	Hoffmann, Rohrig

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge EVS			
Nöding, C.; Felgemacher, C.; Dombert, B.; Zacharias, P.	Advantages of IGBT Series Connection in 1.500 V PVinverters	PCIM2015	2015
Nöding, C.; Kazanbas, M.; Araújo, S.; Zacharias, P.	Towards High Power Ratings: Prospects and Challenges of SiC Technology	PCIM2015	2015
de Oliveira, E.; Araujo, S.; Dombert, B.; Zacharias, P.	A novel 5-level hybrid rectifier using bypass concept for electric vehicle onboard battery Charging	13 th COBEP/1st SPEC, Fortaleza, Brazil	2015
de Oliveira, E.; Araujo, S.; Dombert, B.; Zacharias, P.	Comparative Evaluation of Three-Phase PFC Rectifiers for Mains Interfacing of On-Board Electric Vehicle Battery Charging Systems	13 th COBEP/1st SPEC, Fortaleza, Brazil	2015
Nöding, C.; Kazanbas, M.; Araújo, S.; Zacharias, P.	Towards High Power Ratings: Prospects and Challenges of SiC Technology	PCIM 2015 Conference, Nuremberg	2015
Yu, L.; Araújo, S.; Pappis, D.; Zacharias, P.	Short-circuit capability: benchmarking SiC and GaN devices with Si-based technologies	PCIM 2015 Conference, Nuremberg	2015
Kazanbas, M.; Schittler, A.; Araújo, S.; Zacharias, P.	High-Side Driving under High-Switching Speed: Technical Challenges and Testing Methods	PCIM 2015 Conference, Nuremberg	2015
Schittler, A.C.; Kleeb, T.; Kazanbas, M.; Araújo, S.V.; Zacharias, P.	Considerations on the influence of the current ripple and switching frequency towards the differential mode EMI filter	9 th International Conference on Integrated Power Electronic Systems	2016
Pappis, D.; de Oliveira, E.; Zacharias, P.	Method for balancing capacitors voltages on split DC-links	EPE	2016
Felgemacher, C.; Araújo, S.; Nöding, C.; Zacharias, P.; Ehrlich, A.; Schidleja, M.	Evaluation of Temperature Cycling Stress imposed on Power Electronic Modules in Photovoltaic Central Inverters in Sunbelt Regions	9 th International Conference on Integrat- ed Power Electronic Systems	2016
Felgemacher, C.; Dombert, B.; Nöding, C.; Zacharias, P.	IGBT Online-Temperature Monitoring using Turn-Off Delay as a Temperature Sensitive Electrical Parameter	9 th International Conference on Integrated Power Electronic Systems	2016
Felgemacher, C.; Araújo, S.; Zacharias, P.; Nesemann, K.; Gruber, A.	Cosmic Radiation Ruggedness of Si and SiC Power Semiconductors	28 th IEEE International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs	2016
Felgemacher, C.; Araújo, S.; Zacharias, P.	Benefits of increased cosmic radiation robustness of SiC semiconductors in large power-converters	PCIM Europe	2016

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge e²n			
Drayer, E.; Meyer, F.; Hegemann, J.; Braun, M.	Control strategies for a decentralized, real-time operation of distribution grids	IEEE PowerTech Eindhoven 2015, pp. 1-6, DOI: 10.1109/PTC.2015.7232749, Eindhoven	2015
Kämpf, E.; Abele, H.; Stepanescu, S.; Braun, M.	Beeinflussung des Blindleistungsaustausches zwischen Übertragungs- und Verteilungsnetzen – Entwicklungsoptionen	ETG-Fachtagung: Von Smart Grids zu Smart Markets 2015, ISBN: 978-3-8007-3897-7, pp. 6, Kassel	2015
Drayer, E.; Hegemann, J.; Lazarus, M.; Braun, M.	Umsetzung des BDEW-Ampelkonzeptes für eine agenten-basierte Verteilnetzbetriebsführung	ETG-Fachtagung: Von Smart Grids zu Smart Markets 2015, ISBN 978-3-8007-3897-7, pp. 6.6, Kassel	2015
Lopez, C.D.; Idlbi, B.; Stetz, T.; Braun, M.	Shortening Quasi-Static Time-Series Simulations for Cost-Benefit Analysis of Low Voltage Network Operation with Photovoltaic Feed-In	PESS Power and Energy student Summit 2015, DOI: 10.17877/DE290R-7108, Dortmund	2015
Niedermeyer, F.; von Appen, J.; Kneiske, T.; Braun, M.; Schmiegl, A.; Kreuzer, M.; Rothert, M.; Reischl, A.	Innovative Performancetests für PV-Speichersysteme zur Erhöhung der Autarkie und des Eigenverbrauchs	30. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2015, ISBN: 978-3-943891-45-4, pp.178-179, Bad Staffelstein	2015
Vogt, M.; Marten, F.; Löwer, L.; Horst, D.; Brauns, K.; Fetzer, D.; Menke, J.-H.; Tronica, M. Hegemann, J.; Töbermann, C.; Braun, M.	Evaluation of interactions between multiple grid operators based on sparse grid knowledge in context of a smart grid co-simulation environment	IEEE PowerTech Eindhoven 2015, DOI: 10.1109/PTC.2015.7232781, Eindhoven	2015
Idlbi, B.; Scheidler, A.; Stetz, T.; Braun, M.	Preemptive Network Reinforcement at LV Level considering Uncertainty in Prediction of PV Penetration Scenarios	IEEE PowerTech Eindhoven 2015, DOI: 10.1109/PTC.2015.7232793, Eindhoven	2015
von Appen, J.; Braslavsky, J. H.; Ward, J. K.; Braun, M.	Sizing and grid impact of PV battery systems – a comparative analysis for Australia and Germany	2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST), Vienna	2015
Kraicz, M.; Lammert, G.; Stetz, T.; Gehler, S.; Arnold, G.; Braun, M.; Schmidt, S.; Homeyer, H.; Zickler, U.; Sommerwerk, F.; Elbs, C.	Parameterization of Reactive Power Characteristics for Distributed Generators: Field Experience and Recommendations	International ETG Congress 2015, die Energiewende, Bonn	2015
Wang, H.; Stetz, T.; Marten, F.; Kraicz, M.; Schmidt, S.; Bock, C.; Braun, M.	Controlled reactive power provision at the interface between medium- and high voltage levels. First experiences from real-time controller testing	International ETG Congress 2015, die Energiewende, Bonn	2015
von Appen, J.; Braun, M.	Grid Integration of Market-oriented PV Storage Systems	International ETG Congress 2015, die Energiewende, Bonn	2015

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge e²n			
von Appen, J.; Burgenmeister, B.; Braun, M.	Optimale Dimensionierung von PV-Speicher-Systemen unter Unsicherheit	30. Symposium Photovoltaische Solar-energie 2015, ISBN: 978-3-943891-45-4, pp.206-207, Bad Staffelstein	2015
Niedermeyer, F.; von Appen, J.; Schmiegel, A.U.; Kreutzer, N.; Rothert, M.; Reischl, A.; Kneiske, T.; Braun, M.	Innovative performance Test Procedures for PV-Battery-Systems	9 th International Renewable Energy Storage Conference, IRES 2015, Düsseldorf	2015
Wang, H.; Stetz, T.; Kraiczy, M.; Diwold, K.; Schmidt, S.; Braun, M.	Zentrales Blindleistungsmanagement für die Netzverknüpfungspunkte Hochspannung/ Mittelspannung der Bayernwerk AG	ETG-Fachtagung: Von Smart Grids zu Smart Markets 2015, Kassel	2015
Kraiczy, M.; Stetz, T.; Wang, H.; Schmidt, S.; Braun, M.	Entwicklung des Blindleistungsbedarfs eines Verteilnetzes bei lokaler Blindleistungsregelung der PV-Anlagen im Niederspannungsnetz	ETG-Fachtagung: Von Smart Grids zu Smart Markets 2015, Kassel	2015
Lammert, L. D.; Ospina, P.; Pourbeik, P.; Fetzer, D.; Braun, M.	Implementation and Validation of WECC Generic Photovoltaic System Models in DlgSILENT PowerFactory	IEEE PES General Meeting 2016, Boston	2016
Bärenfänger, R.; Drayer, E.; Daniluk, D.; Otto, B.; Vanet, E.; Caire, R.; Shamsi Abbas, T.; Lisanti, B.	Classifying Flexibility Types in Smart Electric Distribution Grids: A Taxonomy	CIREN Workshop 2016, Helsinki	2016
Drayer, E.; Hegemann, J.; Gehler, S.; Braun, M.	Resilient Distribution Grids – Cyber Threat Scenarios and Test Environment	2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), Ljubljana	2016
Fetzer, D.; Lammert, G.; Fischbach, K.; Nuhn, M.; Weide, J.; Lafferte, D.; Paschedag, T.; Braun, M.	Modelling of Small-Scale Photovoltaic Systems with Active and Reactive Power Control for Dynamic Studies	6 th Solar Integration Workshop, Vienna	2016
Idlbi, B.; von Appen, J.; Kneiske, T.; Braun, M.	Cost-Benefit Analysis of Battery Storage System for Voltage Compliance in Distribution Grids with High Distributed Generation	10 th International Renewable Energy Storage Conference, IRES 2016, Düsseldorf	2016
Marten, F.; Braun, M.	OpSimEval-Ziele, Status und nächste Schritte	Konferenz „Zukünftige Stromnetze“, Berlin	2016
Wende von Berg, S.; Bornhorst, N.; Gehler, S.; Schneider, E.; Hänchen, H.	SysDL 2.0 - Systemdienstleistungen aus Flächenverteilnetzen: Methoden und Anwendungen	14. Symposium Energieinnovation, Graz	2016

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge e²n			
Szabo, A.; Goetz, J.; Wende von Berg, S.; Braun, M.; Stetz, T.; Kreuziger, M.; Hinz, F.; Gehler, S.; Bornhorst, N.	Beiträge von Flächenverteilnetzen zur Erbringung von Systemdienstleistungen - Technische Anwendungsszenarien	Konferenz „Zukünftige Stromnetze“, Berlin	2016
Junker, B.; Wang, H.; Braun, M.	Short-Term Forecast for Reactive Power Compensation - Case Study Photovoltaic in the Medium Voltage Grid	PESS 2016, Aachen	2016
Scheidler, A.; Thurner, L.; Kraicy, M.; Braun, M.	Automated Grid Planning for Distribution Grids with Increasing PV Penetration	6 th Solar Integration Workshop, Vienna	2016
Drayer E.; Hegemann J.; Lazarus M.; Caire R.; Braun M.	Agent-based distribution grid operation based on a traffic light concept	23 rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Lyon	2015
Hegemann, J.; Fetzer, D.; Lafferte, D.; Menke J.-H.; Braun, M.	A flexible co-simulation environmental for real-time power grid analysis	Encuentros ChileGlobal 2015 Conference, Rotterdam, Netherlands	2015
Marten, F.; Vogt, M.; Schreiber, M.; Menke, J.-H.; Töbermann, C.; Braun, M.	Jahressimulation des Zusammenspiels von Regelungskonzepten im Smart Grid	Konferenz „Zukünftige Stromnetze“, Berlin	2016
Kneiske, T.; Braun, M.; Thurner, L.; Czajkowski, C.; Gaul, A.; Lantwin, A.; Kurbjuhn, P.; Kuhlmann, D.	ANAPLAN – automatisierte Netzausbauplanung im Verteilnetz	Konferenz „Zukünftige Stromnetze“, Berlin	2016
Maqbool, I.; Lammert, G.; Ishchenko, A.; Braun, M.	Power System Model Reduction with Grid-Connected Photovoltaic Systems Based on Hankel Norm Approximation	6 th Solar Integration Workshop, Wien	2016
Nemati, M.; Bennimar, K.; Tenbohlen, S.; Tao, Liang; Mueller, H.; Braun, M.	Optimization of microgrids short term operation based on an enhanced genetic algorithm	IEEE PowerTech Eindhoven 2015, DOI: 10.1109/PTC.2015.7232801, Eindhoven	2015
Nemati, M.; Zöllner, T.; Tenbohlen, S.; Tao, Liang; Mueller, H.; Braun, M.	Optimal energy management system for future microgrids with tight operating constraints	12 th International Conference on the European Energy Market, DOI: 10.1109/EEM.2015.7216733, Lisbon	2015
von Appen, J.; Hettrich, A.; Braun, M.	Grid planning and operation with increasing amounts of PV storage systems	9 th International Renewable Energy Storage Conference, IRES 2015, Düsseldorf	2015
Kanwar, A.; Hidalgo Rodriguez, D. I.; von Appen, J.; Braun, M.	A Comparative Study of Optimization-and Rule-Based Control for Microgrid Operation	PESS Power and Energy student Summit 2015, Dortmund	2015

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge AHT			
Brockhaus, H., Claudi, A.	Development of Test-Benches for GNSS-Components in Strong Electric and Magnetic Fields	4 th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2016, IEEE, Jinan, China, S.	2016
Paye, J., Claudi, A., Stecher, M.	High Voltage Robustness of Mold Compounds under Different Environmental Conditions	Reliability Physics Symposium (IRPS)	2015
Austermühl, A., Wels, S., Claudi, A.	Investigations on ageing of hollow microsphere filled silicone gel under electric field stress	19 th International Symposium on High Voltage Engineering	2015
Austermühl, A., Claudi, A.	Silicon-Gele mit feldsteuernden Eigenschaften	RCC Tagungsbericht 2015	2015
Mendez Hernandez, Y., Claudi, A.	Ein Ansatz zur Modellierung der elektromagnetischen Kopplung zwischen DC- und AC-Seite zentraler PV-Wechselrichter für die Abbildung transienter Vorgänge bei Blitzeinwirkungen	VDE/ABB Blitzschutztagung 2015	2015
Raulf, T., Claudi, A.	Monitoring of overhead lines with unmanned aerial vehicles and real time kinematic navigation	19 th International Symposium on High Voltage Engineering	2015
Wiens, C., Claudi, A.	Selection of a switching element to characterise the dynamic behaviour of dc sources	19 th International Symposium on High Voltage Engineering	2015
Austermühl, A., Claudi, A.	On the Modification of Dielectric Properties of Silicone Gels Using Fillers	Conference on Silicon Insulation	2015
Tang, X., Claudi, A.	Investigations of the partial discharge behavior in the border and edge area of thin film electrodes inlayered isolation systems	19 th International Symposium on High Voltage Engineering	2015
Vorträge EVS			
Araújo, S.	Prospects and challenges for SiC at higher power ratings	ROHM SiC & Power Forum, Nürnberg	2015
Felgemacher, C.; Kruschel, W.; Nöding, C.; Zacharias, P.	Reliability Aspects of a Power Electronic Voltage Regulator for Active Low-Voltage Distribution Networks	6 th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG2015), Aachen	2015
Araújo, S.	Drivers for WBG devices – challenges of the future High-side driving under high switching speeds	ECPE Workshops, Hannover	2015

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Vorträge EVS			
Araújo, S.	Drivers for WBG devices – current status and upcoming challenges	ECPE Workshop - SiC & GaN User Forum 2015, Coventry, U.K.	2015
Zacharias, P.	Development of Smart Grid Systems in Germany: How Smart Grids Support Increasing Use of Renewable Power Generation	International Conference on Energy	2015
Vorträge e²n			
Braun, M.; Kraiczy, M.; Kämpf, E.; Wende v. Berg, S.	Ancillary Services from DSO to TSO-Pilot Project and Real-Time Simulation Environment – on the evolving role of DSOs	IEEE PES General Meeting 2016, Boston, USA	2016
Niedermeyer, F.; Degner, T.; Heckmann, W.; Fuchs, U.; Braun, M.; Stock, S.; Krautkremer, B.	Integration of renewable energy sources into distribution grids	4 th Fraunhofer Innovation & Technology Platform 2016	2016
Braun, M.; Scheidler, A.; Thurner, L.; Töbermann, J.-C.; Kraiczy, M.	Pandapower – the next generation of python based grid calculation	IEEE PES General Meeting 2016, Boston, USA	2016
Degner, T.; Rohrig, K.; Strauß, P.; Braun, M.; Wurdinger, K.; Korte, K.	Anforderungen an ein zukünftiges Stromnetz	FVEE-Jahrestagung 2016, Berlin	2016
Braun, M.	Netz:Kraft: Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung zukünftiger Kraftwerksstrukturen	IEEE PES Power & Energy Society Workshop „Verteilnetze für die Energiewende“, Kaiserslautern	2016
Braun, M.; Thurner, L.	PS1 / Question 2, Are deterministic worst-case approaches still applicable for the planning of future power systems?	CIGRE Session 2016, Paris	2016
Braun, M.; Thurner, L.	PS1 / Question 3, How do automated planning methods affect distribution system layout?	CIGRE Session 2016, Paris	2016
Braun, M.; Thurner, L.	PS1 / Question 4, How will current trends in distribution system layout influence reliability?	CIGRE Session 2016, Paris	2016
Stetz, T.; Diwold, K.; Kraiczy, M.; Geibel, D.; Schmidt, S.; Braun, M.	Techno-Economic Assessment of Voltage Control Strategies in Low Voltage	IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, Colorado, USA	2015

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Wissenschaftlichen Journals e²n			
Ma, C.; Kaufmann, P.; Töbermann, J.-C.; Braun, M.	Optimal Generation Dispatch of Distributed Generators Considering Fair Contribution to Grid Voltage Control	Journal "Renewable Energy", Vol. 87, No. 2, pp. 946-953	2016
Saint-Drenan, Y.-M.; Good, G. H.; Braun, M.; Freisinger, T.	Analysis of the uncertainty in the estimates of regional PV power generation evaluated with the upscaling method	Solar Energy, Vol 468, pp. 536-550, DOI: 10.1016/j.solener.2016.05.052	2016
Kämpf, E.; Braun, M.; Stetz, T.; Abele, H.; Stepanescu, S.	Reliable controllable reactive power for the extra high voltage system by high voltage distributed energy resources	CIGRE Science & Engineering, No. 2, pp. 14-29	2015
Ma, C.J.; Rautiainen, J.; Dahlhaus, D.; Lakshman, A.; Toebermann, J.-C.; Braun, M.	Online optimal charging strategy for electric vehicles	Energy Procedia 73, pp. 173-181, ISSN: 1876-6102	2015
Stetz, T.; Appen, J. von; Niedermeyer, F.; Scheibner, G.; Sikora, R.; Braun, M.	Twilight of the Grids: The impact of distributed solar on Germany's energy transition	IEEE power & energy magazine 13, No. 2, pp. 50-61, ISSN: 1540-7977	2015
Wissenschaftlichen Journals AHT			
Breker, S., Claudi, A., Sick, B.	Capacity of Low-Voltage Grids for Distributed Generation: Classification by Means of Stochastic Simulations	IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 30, S. 689-700	2015
Wissenschaftliche Fachzeitschriften / Bücher / Poster e²n			
Braun, M.; Kämpf, E.; Krafczy, M.	Elektrische Verteilungsnetze im Wandel	Wietschel, Martin (Hrsg.); Ullrich, Sandra (Hrsg.); Markewitz, Peter (Hrsg.); Schulte, Friedrich (Hrsg.); Genoese, Fabio (Hrsg.), Energietechnologien der Zukunft: Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze, Springer Vieweg, DOI: 10.1007/978-3-658-07129-5	2015
Arnold, G.; Barth, H.; Bofinger, S.; Braun, M.; Dasenbrock, J.; Geibel, D.; Gerhardt, N.; Heckmann, W.; Kämpf, E.; Krafczy, M.; Rohrig, K.; Seibel, A.; Speckmann, M.; Spiekermann, R.; Stetz, T.; Strauß, P.	PV-Netzintegration – Energiesystemtechnische Aspekte und Umsetzungswege	Auswertung im Projekt „Netzintegration von Photovoltaikanlagen“ im Unterauftrag von Ecofys im Rahmen des Gesamtvorhabens vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB)	2015

PUBLIKATIONEN 2015 / 2016

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Wissenschaftliche Fachzeitschriften / Bücher / Poster e²n			
Thurner, L.; Scheidler, A.; Dollichon, J.; et. al.	pandapower - Convenient Power System Modelling and Analysis based on PYPOWER and pandas	Technical Report	2016
Niedermeyer F.; von Appen J.; Braun M.; Schmiegel A.; Rothert M.; Kreutzer N.	Transparentes Verfahren zum Vergleich der Performance von PV-Batteriesystemen	PV-Magazine, Ausgabe 04/2014, pp. 81-84	2014
Wissenschaftliche Fachzeitschriften / Bücher / Poster AHT			
Raulf, T. & Claudi, A.	Verwendung von Breitband Empfängern zur Detektion von Funkstörungen an Freileitungen	VDE-Hochspannungstechnik 2016	2016
Wels, S., Claudi, A., Böttge, B., Krombholz, A., Klengel, S.	Entwicklung einer Prüfkörpergeometrie zur Evaluation der elektrischen Festigkeit von thermoplastischen Kunststoffen unter dem Einfluss von Umgebungsbedingungen	VDE-Hochspannungstechnik 2016	2016
Brockhaus, H., Claudi, A.	Entwicklung eines Prüfstandes für GNSS-Komponenten in hohen elektrischen und magnetischen 50 Hz Feldern	VDE-Hochspannungstechnik 2016	2016
Wiens, C., Claudi, A., Finis, G.	Auswirkungen des dynamischen Verhaltens von PV-Anlagen auf Abschaltvorgänge	VDE-Hochspannungstechnik 2016	2016
Brockhaus, H., Claudi, A.	E2V : Für spezifische Nutzergruppen adaptierbares teilautonomes Fahrzeug für die Erkundung von Kulturräumen : Teilvorhaben Integration von Navigation und Informationssystem	Schlussbericht, Universität Kassel	2015
Sonstiges e²n			
Al Fakhri, L.; Kraicz, M.; Stetz, T.; Braun, M.	Do it Locally: Local Voltage Support by Distributed Generation – A Management Summary	Arbeit im Rahmen IEA PVPS Task 14 „High Penetration PV in Electricity Grids“	2016
Kämpf, E.; Braun, M.	Expert Systems as Support to Strategic Network Planning	Die Rolle von Expertensystemen und Teilautomatisierung in der Entwicklung von Netzplanungsgrundsätzen, DOI: 10.13140/RG.2.1.3473.7760	2015
Gómez, J.; Lafferte, D.; Braun, M.	Wind gas battery hybrid system for power supply solution in South Patagonia	Proceedings of EES 2015: Multidisciplinary Symposium on Energy, Efficiency and Sustainability, Kassel university press, ISBN: 978-3-86219-589-3	2015

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Leitung EVS



**Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Zacharias (EVS)**
Tel.: 0561 804 6344
peter.zacharias@uni-kassel.de

Leitung e²n



**Prof. Dr.-Ing.
Martin Braun (e²n)**
Tel.: 0561 804 6202
martin.braun@uni-kassel.de

Leitung AHT



Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi (AHT)
Tel.: 0561 804 6390
aclaudi@uni-kassel.de

Leitung INES



**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann (INES)**
Tel.: 0561 804 6344
clemens.hoffmann@iwes.fraunhofer.de

Stellvertretende Leitung / EVS



Dr.-Ing. Christian Nöding (EVS)
Tel.: 0561 804 6166
christian.noeding@uni-kassel.de

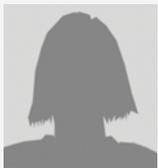


Dr.-Ing. Mathias Käbisch (EVS)
bis 2016



**Prof. Dr.-Ing. habil.
Siegfried Heier (emeritiert)**
heier@uni-kassel.de
bis 2013

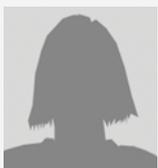
Sekretariate



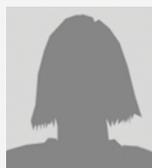
Frau Anja Clark-Carina (EVS)
Tel.: 0561 804 6344
sekretariat.evs@uni-kassel.de



Frau Kristina Torno (e²n)
Tel.: 0561 804 6201
kristina.torno@uni-kassel.de



Frau Svitlana Dippel (AHT)
Tel.: 0561 804 6420
sdippel@uni-kassel.de



Frau Annette Petrat (INES)
Tel.: 0561 804 6182
annette.petrat@uni-kassel.de

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Dr.-Ing. Samuel Araujo (EVS)
bis 2016



Dipl.-Ing. Angelo Austermühl (AHT)
austermuehl@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Sarah Becker (INES)
Tel.: 0561 804 6461
sarah.becker@uni-kassel.de



Techn. Volker Berge (EVS)
Tel.: 0561 804 6524
vberge@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Nils Bornhorst (e²ⁿ)
Teamleiter
Tel.: 0561 804 6381
nils.bornhorst@uni-kassel.de



Henrik Brockhaus, M.Sc. (AHT)
Tel.: 0561 804 6481
brockhaus@uni-kassel.de



Priyanka Chaudhari, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6127
priyanka.chaudhari@uni-kassel.de



Milena Dias, M.Sc. (EVS)
bis 2016



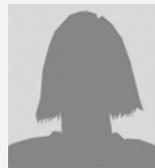
Dipl.-Ing. Benjamin Dombert (EVS)
bis 2016



Dipl.-Ing. Werner Döring (EVS)
Tel.: 0561 804 6465
werner.doering@uni-kassel.de



Dipl.-Phys. Elisabeth Drayer (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6432
elisabeth.drayer@uni-kassel.de



Claudia Erdt (e²ⁿ)
bis 05/2015



Eduardo Facanha de Oliveira, M.Eng. (EVS)
Tel.: 0561 804 6477
e.oliveira@uni-kassel.de



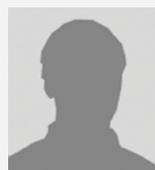
Christian Felgemacher, M.Eng. (EVS)
Tel.: 0561 804 6477
c.felgemacher@uni-kassel.de



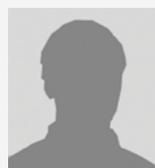
Dipl.-Ing. Florian Fenske (EVS)
Tel.: 0561 804 6320
f.fenske@uni-kassel.de



Dirk Fetzer, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6323
dirk.fetzer@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Gernot Finis (AHT)
gfinis@phoenixcontact.com



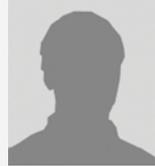
Frey Florez, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6221
frey.florez@uni-kassel.de

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Wolfgang Fröhlich (EVS)
Tel.: 0561 804 6465
w.froehlich@uni-kassel.de



Dipl.-Sys.wiss. Sascha Holzauer (INES)
Tel.: 0561 804 6513
sascha.holzauer@uni-kassel.de



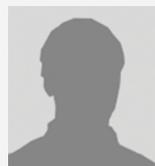
Dr. rer. nat. Stefan Gehler (e²n)
bis 04/2016



Dr.-Ing. Likaa Fahmi Ahmed Izzat (EVS)
bis 2015



Frank Gielsdorf (AHT)
frank.gielsdorf@energienetz-mitte.de



Stefan Jörres, M.Sc. (AHT)
Tel.: 0561 804 6316
joerres@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Bernd Gruss (e²n)
Tel.: 0561 804 6228
gruss@uni-kassel.de



Bastian Junker, M.Sc. (e²n)
Tel.: 0561 804 6180
bastian.junker@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Manuel Günther (EVS)
bis 2016



Dr.-Ing. Mathias Käbisich (EVS)
bis 2016



Jonas Haack, M.Sc. (e²n)
Tel.: 0561 804 6482
jonas.haack@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Mehmet Kazanbas (EVS)
bis 2016



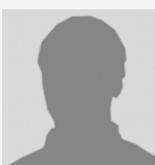
Dipl.-Ing. Christian Hachmann (e²n)
Tel.: 0561 804 6657
christian.hachmann@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Thiemo Kleeb (EVS)
Tel.: 0561 804 6404
t.kleeb@uni-kassel.de



Dr. rer. nat. Jan Hegemann (e²n)
bis 09/2016



Dr. phil. Friedrich Krebs (INES)
Tel.: 0561 804 6141
fkrebs@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Juliane Hinze (EVS)
Tel.: 0561 804 6305
juliane.hinze@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Wolfram Kruschel (EVS)
bis 2016

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



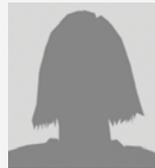
Wolfgang Kusch, M.Sc. (AHT)
wolfgang.kusch@fh-koeln.de



Dipl.-Ing. Tina Paschedag (e²ⁿ)
Teamleiterin
Tel.: 0561 804 6669
paschedag@uni-kassel.de



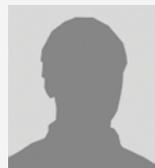
Dr.-Ing. Darío Lafferte (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6653
dario.lafferte@uni-kassel.de



Dipl.-Phys. Julie Paye (AHT)
julie.paye@outlook.com



Gustav Lammert, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6653
gustav.lammert@uni-kassel.de



Tobias Raulf, M.Sc. (AHT)
Tel.: 0561 804 6178
raulf@uni-kassel.de



Friederike Meier, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6658
friederike.meier@uni-kassel.de



Florian Schäfer, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6176
florian.schaefer@uni-kassel.de



Steffen Meinecke, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6084
steffen.meinecke@uni-kassel.de



Andressa Colvero Schittler, M.Sc. (EVS)
bis 2016



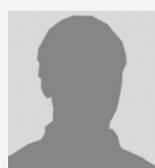
M.Sc. Lucas Menezes (EVS)
Tel.: 0561 804 6512
lucas.menezes@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Robert Schmoll (e²ⁿ)
Teamleiter
Tel.: 0561 804 6165
robert.schmoll@uni-kassel.de



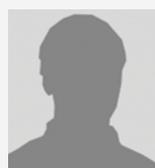
Jan-Hendrik Menke, M.Sc. (e²ⁿ)
Tel.: 0561 804 6654
jan-hendrik.menke@uni-kassel.de



Oliver Schröder (AHT)
Tel.: 0561 804 6394
oliver@uni-kassel.de



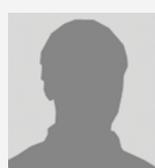
Jens Obst (AHT)
Tel.: 0561 804 6393
obst@uni-kassel.de



Techn. Bernhard Siano (EVS)
Tel.: 0561 804 6524
siano@uni-kassel.de



Douglas Pappis, M.Sc. (EVS)
bis 2016



Dipl.-Ing. Xiaoyan Tang (AHT)
Tel.: 0561 804 6542
x.tang@uni-kassel.de

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Leon Thurner, M.Sc. (e²n)
 Tel.: 0561 804 6377
 leon.thurner@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Cornelia Vandahl (AHT)
 cornelia.vandahl@tu-ilmenau.de



Dipl.-Ing. Sebastian Wels (AHT)
 Tel.: 0561 804 6306
 wels@uni-kassel.de



Jiajing Wende, M.Sc. (EVS)
 Tel.: 0561 804 6510
 jiajing.wende@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Marita Wendt (EVS)
 bis 2015



Jörg Wiederrecht (EVS)
 Tel.: 0561 804 6524
 wie@uni-kassel.de

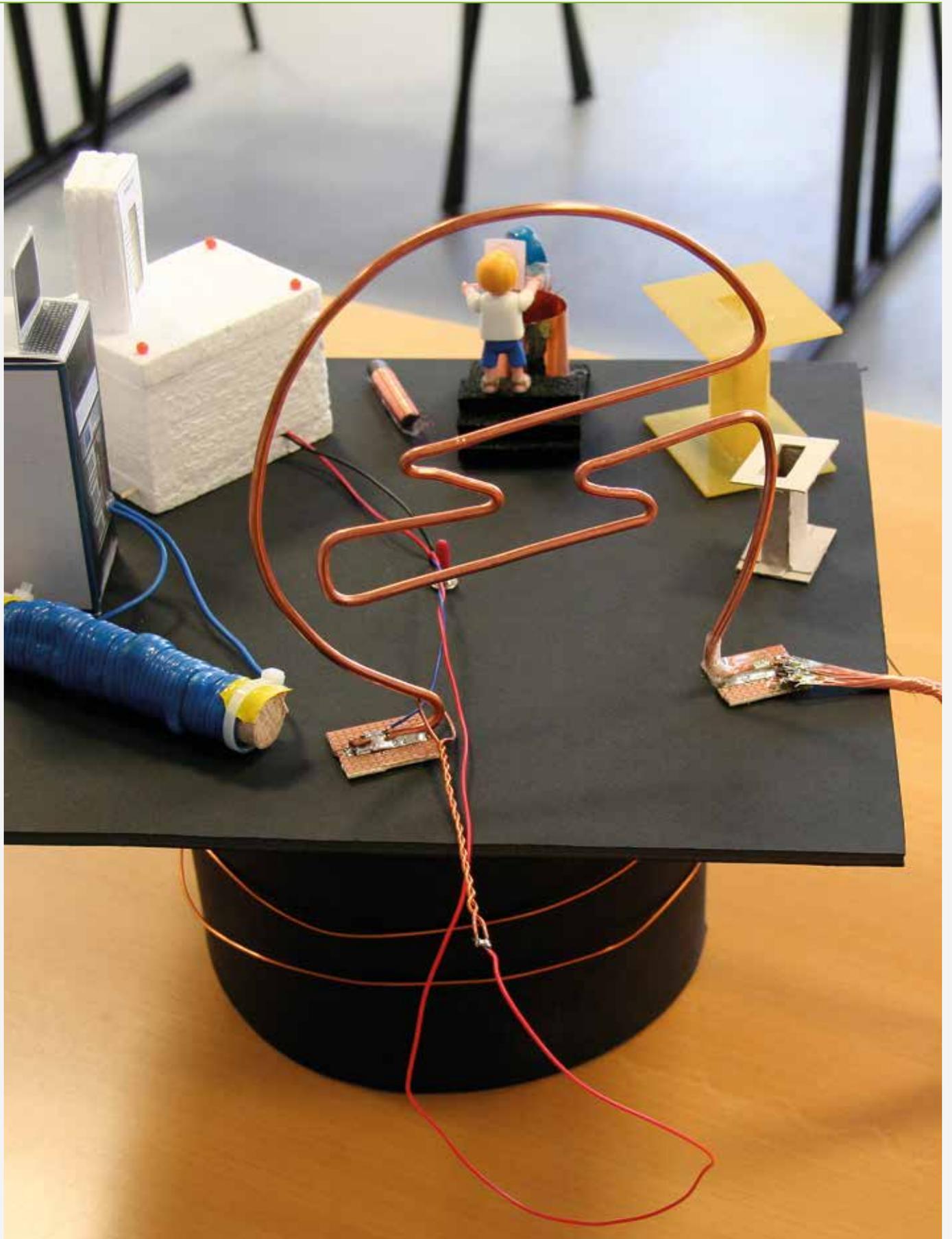


Christian Wiens, M.Sc. (AHT)
 Tel.: 0561 804 6504
 wiens@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Oskar Winter (AHT)
 winter@ib-winter.de

WWW.KDEE.UNI-KASSEL.DE



IMPRESSIONEN

IMPRESSIONEN 2015 / 2016



Team AHT



AHT Radtour

AHT Schaltanlage



AHT Weihnachtsfeier

IMPRESSIONEN 2015 / 2016



Team e²n



Urban Glow

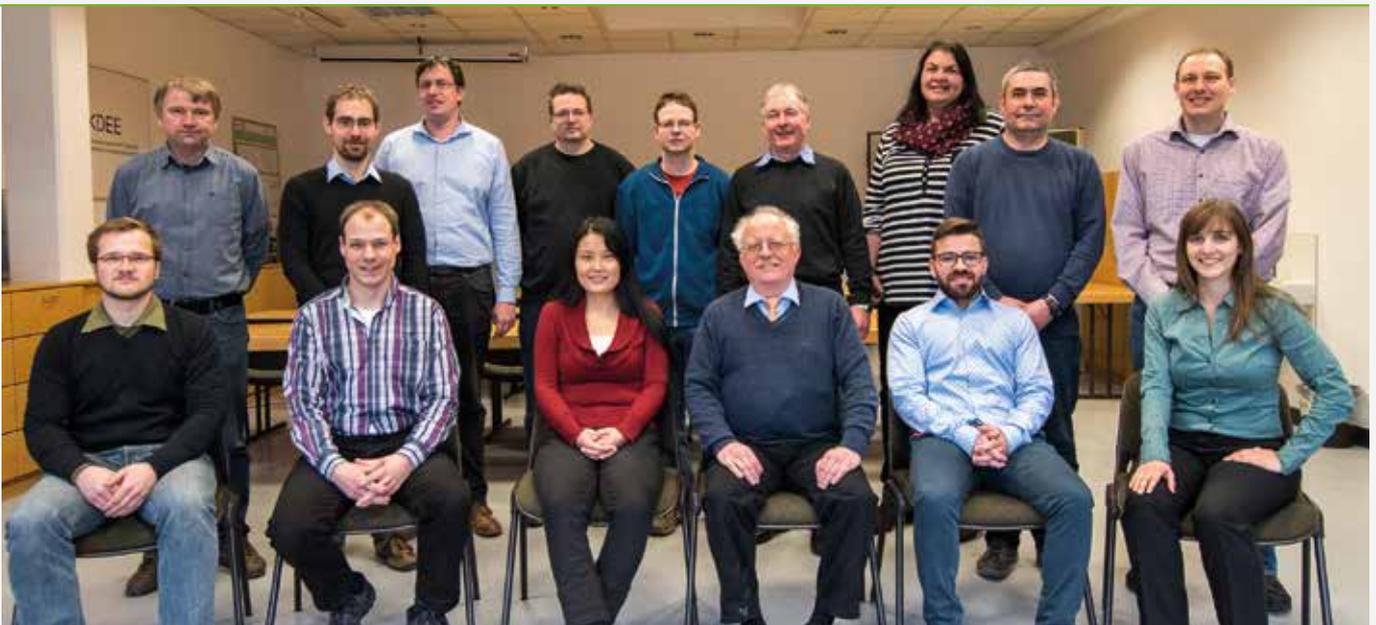


IMPRESSIONEN 2015 / 2016

Fachgebiet EVS: 18.02.2016
Verabschiedung unseres Teamleiters
Samuel Araujo



Team EVS

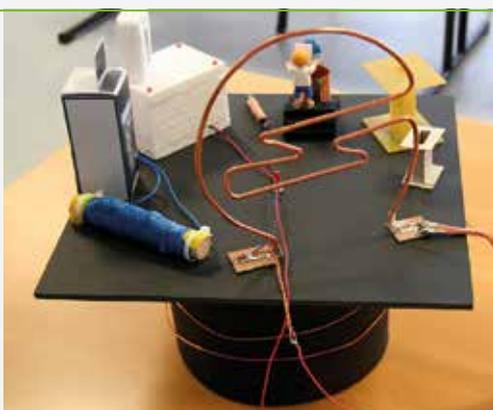


IMPRESSIONEN 2015 / 2016



Fachgebiet e²n: 05.10.2016 Doktorandenkolloquium am e²n

Traditionellen Doktorhutbaus an der Uni Kassel



IMPRESSIONEN 2015 / 2016



Prof. Meinhardt und Dekan Prof. Dahlhaus als Interpreten auf der akademischen Semesterfeier.



Prof. P. Zacharias of the University of Kassel, representing ECPE "Power Semiconductor-Trends in System Integration and Future Application Aspects".



IMPRESSIONEN 2015 / 2016



Influenzmaschine und Leydener Flaschen als Kondensatoren am Rande einer Promotionsfeier an der TU Eindhoven.



www.kdee.uni-kassel.de

Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE)

Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS)
Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n)
Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik (AHT)
Fachgebiet Integrierte Energiesysteme (INES)

Universität Kassel
Wilhelmshöher Allee 71

34121 Kassel, Germany

EVS: Tel. +49 561 804 6344
www.evs.uni-kassel.de

AHT: Tel. +49 561 804 6420
www.uni-kassel.de/eecs/iee-aht

e²n: Tel. +49 561 804 6201
www.e2n.uni-kassel.de

INES: Tel. +49 561 804 6182
www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/integrierte-energiesysteme

Stand: April 2017

