

## ZWEIJAHRESBERICHT 2013/2014

### **EVS:**

Stromrichter für Elektro-  
fahrzeuge  
Energiespeicher  
Hocheffiziente Konverter  
Aktive Niederspannungs-  
netze  
SiC & GaN Bauelemente  
IEEE Studentenwettbewerb  
Future Energy Challenge  
Drosselprüfstand

### **e<sup>2</sup>n:**

Netzberechnungen und  
Netzsimulationen  
Planung und Betriebsführung  
elektrischer Netze  
Netzregelung und Netzwieder-  
aufbau  
Leistungs- und Energie-  
management

## 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

Anschrift:  
Wilhelmshöher Allee 71  
34121 Kassel | Germany

[www.kdee.uni-kassel.de](http://www.kdee.uni-kassel.de)

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

e<sup>2</sup>n: Tel. +49 561 804 6201 (Frau Claudia Erdt)  
E-Mail: [cerdt@uni-kassel.de](mailto:cerdt@uni-kassel.de)  
[www.e2n.uni-kassel.de](http://www.e2n.uni-kassel.de)

Redaktionelle Koordination:  
Dr.-Ing. Samuel Vasconcelos Araújo, Dr.-Ing. Mathias Käbisch,  
Dr. rer. nat. Stefan Gehler, Dr. rer. nat. Jan Hegemann

Satz und Layout:  
formkonfekt | konzept & gestaltung | Karen Marschinke | Kassel

Bilder:  
Universität Kassel

Herstellung: Boxan, Kassel

Papier: Maxisilk, FSC zertifiziert  
(Forest Stewardship Council bzw. dessen Zertifizierungssystem  
steht für international gültige Standards einer ökonomisch,  
ökologisch und sozial nachhaltigen Waldbewirtschaftung)

Kassel, 2015



## **ZWEIJAHRESBERICHT 2013/2014**

ZUM ABSCHLUSS DER AUFBAUPHASE 2009 – 2014

## INHALTSANGABE

Vorwort	4
Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE)	6
Selbstbild KDEE	8
Das Fachgebiet EVS	12
Das Fachgebiet e²n	14
Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST)	16
Forschungskooperationen 2013/2014	17
Labor-Infrastruktur/Serviceangebote	19

## ÖFFENTLICHKEITSARBEIT 24

Prof. Dr. Bradke in Beratungsgremium der Bundesregierung berufen	24
Ehrendoktorwürde für Solar-Pionier Günther Cramer	25
Akademische Semesterfeiern 2013/2014	26
ECPE Workshop „Leistungselektronik in Netzen“	28
IEEE – International Future Energy Challenge 2013	29
PCIM Preis an S. Araújo: Young Engineer Award 2013	30
JST-NSF-DFG Workshop über dezentralisiertes Energiemanagementsystem, Honolulu 2014	31
Tagungsbeirat Symposium Photovoltaische Solarenergie	32
Das MINT-Café 2013/14	34
Experimentalunterricht an der Johann-Amos-Comenius-Schule	35

## F&E PROJEKTE 36

Vorwort	36
<b>FORSCHUNGSTHEMA PHOTOVOLTAIK</b>	
Leistungselektronische Wandler für photovoltaische Systeme	37
Giga-PV: Systemoptimierung PV-Großkraftwerke für den globalen Sonnengürtel	38
FLIP: Größen optimierte Photovoltaik-Wechselrichter in der unteren kW-Klasse	40
Energieeffiziente Stromrichter durch Nutzung von GaN-Bauelementen (E²COGaN)	41
HHK: Hochfrequenz-Hochstrom-Komponenten	42
Entwicklung eines Photovoltaik Kleinstwechselrichters	43
Bewertungssoftware für leistungselektronische Schaltungen „TopBench“	44
<b>FORSCHUNGSTHEMA NETZE</b>	
Aktive, intelligente Niederspannungsnetze (AINS)	45
Einsatz multifunktionaler Netzregler in Energieversorgungssystemen	46
Studie zur Veränderung der Netzkurzschlussleistung	48
Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung geregelter Kurzschlussleistung	49
<b>FORSCHUNGSTHEMA AUTOMOTIV</b>	
Entwicklung eines flexiblen, hocheffizienten und kompakten dreiphasigen Schnellladegeräts für E-Mobilität	50
Elektromobilitätskonzept mit teilautonomen Fahrzeugen (Electrical Explore Vehicle – E2V)	52
Automotive Bordnetzwannder für Elektro- und Hybridfahrzeuge mit GaN-Bauelementen	53
Leistungselektronischer Antriebsumrichter für vielphasigen bürstenlosen Gleichstrommotor	54
Leistungselektronik für ein Pedelec	56
Robuste Regelung einer mehrphasigen bürstenlosen DC-Maschine (BLDC) für einen Hilfsantrieb	57
Elektronik für die Anwendung in Hochleistungs-Rennfahrzeugen	58
Elektrifizierung eines Mercedes-Benz 300 SEL	59

## FORSCHUNGSTHEMA LEISTUNGSELEKTRONISCHE KOMPONENTEN

Automatisierte Halbleitercharakterisierung in einer Kommutierungszelle	60
Untersuchung und Modellierung der Verlustleistungen in eGaN™ FETs	62
High-Side Ansteuerung unter Hochschaltgeschwindigkeiten: technische Herausforderungen und Testmethoden	64
Charakterisierung und Verlustmessung magnetischer Materialien und Wickelgüter	65
Steuerbare Transformatoren und Drosseln	66
Modellierung nichtlinearer magnetischer Bauelemente in Wandlern	67

## FORSCHUNGSTHEMEN IM FACHGEBIET e<sup>2</sup>n

Netzwiederaufbau Power System Black Start	68
DREAM – Erschließung von dezentralen erneuerbaren Energieressourcen im Stromnetz	69
Test- und Simulationsumgebung für Betriebsführungen und Aggregatoren im Smart Grid (OpSim)	70
SysDL 2.0: Systemdienstleistungen aus Flächenverteilnetzen	71
SmartGridModels: Modelle und Netzanalysen zukünftiger Smart Grids	72
Promotionsvorhaben: Beschleunigung von Netzsimulationen	73
Promotionsvorhaben: Dynamik und Stabilität von Verteilungsnetzen	74

## ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN 75

### 2013

On the Perspectives of Wide-Band Gap Power Devices in Electronic-Based Power Conversion for Renewable Systems (Samuel Araújo)	76
On the Perspectives of Wide-Band Gap Power Devices in Electronic-Based Power Conversion for Renewable Systems (Michael Heeb)	77
Zur Präzision der Steuerbarkeit elektromagnetischer Hochleistungslinearmotoren am Beispiel eines symmetrischen Taylor-Test-Experiments (Thorbjörn Siaenen)	78

Untersuchung netzgekoppelter Ladekonzepte für zukünftige Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeuge (Christoph van Booven)	79
Development of Brushless Self-excited and Self-regulated Synchronous Generating System for Wind and Hydro Generators (Likaa Fahmed Ahmed Izzat)	80
Untersuchung eines Ringgenerators für Windenergieanlagen der 10 MW -Klasse auf Basis statischer Versuchsmodelle und numerischer Simulation (Katharina Messoll)	81
Autonomous Voltage Control Strategies in Distribution Grids with Photovoltaic Systems – Technical and Economic Assessment (Thomas Stetz)	82

### 2014

Designing a Robust Pitch Angle Controller for a 2-Motor-Pitch-System in a Large Wind Turbine (Jungchul Choi )	83
Permanentmagnetische Vormagnetisierung von Speicherdrosseln in Stromrichtern (Jens Friebe)	84
Transformatorlose Wechselrichter (Mehmet Cemil Kazanbas)	85
Optimierung von PV-Wechselrichtern im Netzparallelbetrieb mithilfe analytischer Verhaltens- und Verlustleistungsmodelle (Julia Pinne)	86
Untersuchung des Betriebsverhaltens einer Windkraftanlage mit permanenterregten Synchrongeneratoren für den Einsatz im Offshore-Bereich (Adil Ezzahraoui)	87

## DOKUMENTATION 88

Aktuelle Abschlussarbeiten 2013/2014	88
Publikationen 2013/2014	93
Publikationen 2012 – 2009	97
Patente und Schutzrechte	103
Mitarbeiter des KDEE/EVS/e <sup>2</sup> n	104
Impressionen (Jahresausflug, Grillen, Weihnachtsfeier)	107

## 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 (e<sup>2</sup>n)* 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. Je höher der Anteil dieser Stromrichter 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 Technikgestaltung 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 1000 km. 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 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kostensenkung überträgt sich aus dem Bereich der Erneuerbaren Energietechnik zunehmend auch in andere

Bereiche. Neben der Wärmeversorgung durch Kraft-Wärme-Koppelung 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 „spinn 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 (an der Uni Kassel früher Diplom II) zu führen, ist an dieser Stelle hervorzuheben. Besuchten an der Uni Kassel 2005 nur etwas über 20 Studenten die Vorlesung *Leistungselektronik*, so sind es mittlerweile im SS 2014 über 70 Teilnehmer, in *Grundlagen der Elektrischen Energietechnik* im WS 2013/14 140 Teilnehmer und in *Grundlagen der Elektrischen Energietechnik* im WS 2014/15 sogar 150 Teilnehmer. Die Zahl der Hörer des angebotenen Masterkurses in *Magnetische Bauelemente* hatte im ersten Jahr weniger als ein Drittel der derzeitigen Hörerschaft. Die im Wintersemester 2012/13 neu angebotene Vorlesung *Intelligente Stromnetze* hatte bereits 70 Hörer. Das wird den Mangel an qualifizierten Fachkräften lindern, ist aber weit entfernt von einer langfristigen Deckung der Nachfrage.

Es war daher 2009 eine weit vorausschauende Entscheidung des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst durch die damalige Ministerin Eva Kühne-Hörmann, gemeinsam mit der Universität Kassel, Wissenschaft und Forschung in diesen Bereichen durch Förderung und enge Kooperationsbeziehungen mit der Industrie auszubauen.

Die Gründung des *Instituts für dezentrale Energietechnologie (Ide)* durch die Universität Kassel im Verbund mit der Stadt Kassel und einer ganzen Reihe industrieller Akteure der Region als gemeinnützige GmbH ist ein weiterer, industriegetriebener Schritt in diese Richtung. Das KDEE ist durch personelle Verknüpfung des Fachgebiets e<sup>2</sup>n 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 von EVS, e<sup>2</sup>n 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

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 with the appointment of Prof. Dr.-Ing. Martin Braun as head of the Department of Energy Management and Power System Operation (e<sup>2</sup>n) 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. The higher the share of the total installed capacity 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 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



Prof. Dr.-Ing. habil.  
Peter Zacharias



Prof. Dr.-Ing.  
Martin Braun

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 promote 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 (previously "Diplom II" at the University of Kassel) program. While in 2005 only about 20 students attended the lecture course on power electronics the number rose to over 70 in the summer semester 2014. The course on fundamentals of electrical power engineering was attended by over 140 students in WS 2013/14 and by more than 150 in WS 2014/15. The number of students attending the lecture course on magnetic devices at MSc level has increased threefold since the first year it was offered. The newly offered lecture course on smart grids was already attended by 70 students. This will reduce the shortage of skilled professionals, but is far from a long-term fulfilment of demand.

It was therefore in 2009 a far sighted decision from the Ministry for Science and Art of Hesse through the at that time minister Eva Kühne-Hörmann, 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 e<sup>2</sup>n. 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, e<sup>2</sup>n 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.

*P. Zacharias* *M. Braun*



**Unter dem Dach des Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) befinden sich die zwei Fachgebiete:**



Lehre und Forschung im **Fachgebiet 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.

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 Wandler systemen – speziell von Stromrichtereinheiten – sowie grundlegende Arbeiten zur Modularisierung und Auslegung von gesamten Versorgungsanlagen kleiner Leistung

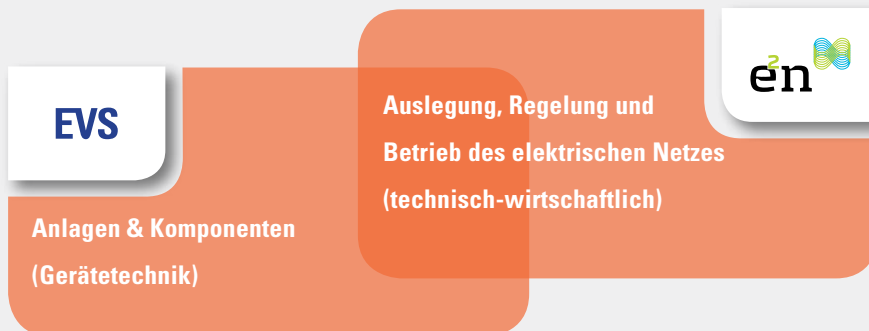
*Teaching and research activities in the department EVS under the coordination of Prof. Zacharias are focused on subsystems and systems for electrical power supply and on development of power electronic components and devices for such systems. These include especially the development of methods to use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

*The department EVS is engaged on 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 behavior of components and facilities*
- *Development of power converters as well as basic design and modularization of low power supply systems*





Das **Fachgebiet 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

Ansprechpartner

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

Titel

**SELBSTBILD KDEE**

title

**SELF-PERCEPTION KDEE**

Die Gründung des *Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE)* folgte dem Bedarf nach einem Konzentrationspunkt in der Universität für die Entwicklung innovativer Lösungen zur Antwort auf Herausforderungen der dezentralen Energieversorgung sowie nach einer Vorbereitung des wissenschaftlich technischen Transfers von entsprechenden gerätetechnischen und systemtechnischen Prinzip-Lösungen in die industrielle Praxis.

Es ist bisher thematisch und personell eng verbunden mit dem Fachgebiet *Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS/Prof. P. Zacharias)* und wurde im Jahr 2012 durch das Fachgebiet *Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n, Prof. M. Braun)* verstärkt.

Es ist vorbereitet, dass das KDEE zeitnah eine logische Erweiterung mit den Fachgebieten *Integrierte Energiesysteme (IE/Prof. C. Hoffmann)* und *Anlagen und Hochspannungstechnik (AHT/Prof. A. Claudi)* erfährt und so entsprechend der drängendsten Forschungsthemen erweitert wird.

Das Fachgebiet *Integrierte Energiesysteme* hat den systemtechnischen Überbau komplexer Energieversorgungssysteme zum Inhalt und ist daher als unabdingbare Erweiterung des derzeitigen Portfolios an Themen für die Zukunft zu sehen.

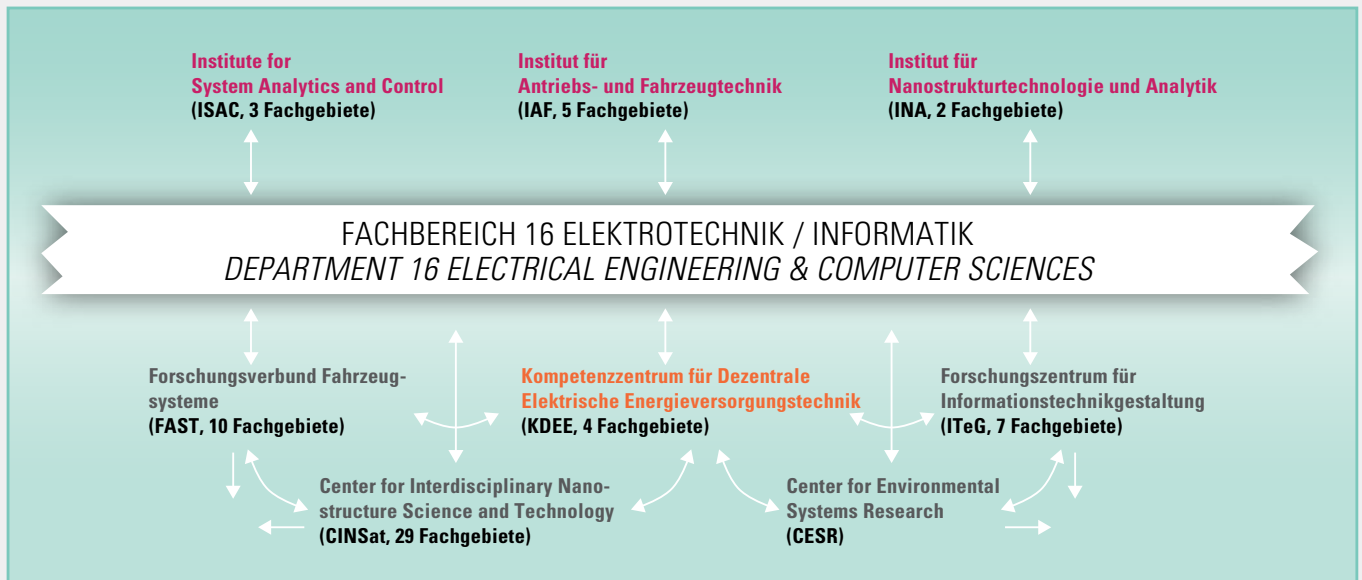
Mit dem Fachgebiet *Anlagen und Hochspannungstechnik* wird thematisch auch der überregionale Transport elektrischer Energie besetzt.

Das KDEE hat zwar den Schwerpunkt elektrische Energiesystemtechnik, ist jedoch wegen der Komplexität des Themas bis in die Gesellschaft und modernste elektrophysikalische Wirkverfahren hinein auch mit anderen, nur teilweise technisch orientierten, Forschungszentren verbunden. Dies drückt sich in der Einbeziehung in entsprechende Forschungsthemen aus. Nebenstehendes Bild gibt eine Übersicht über diese Einbindung aus der Perspektive des KDEE, verortet im Fachbereich 16. In der wissenschaftlichen Gesellschaft wird die Entwicklung einer DFG Forschergruppe aus dem KDEE heraus angestrebt.

## U N I K A S S E L V E R S I T Ä T

*The foundation of the Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology (KDEE) followed the demand for a concentration point for the development of innovative solutions to address challenges of a decentralised energy supply within the university and the preparation of scientific technical transfer of device-related and system principle solutions into industrial application. To date the KDEE is closely coupled, both in terms of topics and staff, with the department of Electric Power Supply Systems (EVS/Prof. P. Zacharias) and was extended in 2012 with the department of Energy Management and Power System Operation (e²n/Prof. M. Braun).*

*Preparations to undertake a logical extension of the KDEE with the departments Integrated Energy Systems (IE/Prof. C. Hoffmann) and Equipment and High-Voltage Technology (AHT/Prof. A. Claudi) have been done to expand according to the most pressing research topics. The technical system superstructure of complex energy systems is the main topic of the department of Integrated Energy Systems and can therefore be seen as an essential extension for the current portfolio of themes for the future. The department of Equipment and High-Voltage Technology covers the topics in the area of supra-regional energy transport. Although the KDEE focuses on electrical power system technology it is also connected to other not only technology focused research centers as a consequence of the complexity of the topics (involvement in society, modern electro-physical methods). This is expressed by the inclusion in such relevant research topics. The following diagram provides an overview of the integration of the KDEE within the faculty of electrical engineering and informatics. In the scientific community the aim is to develop a DFG research group from within the KDEE.*



#### Derzeitige und zukünftige Tätigkeitsschwerpunkte des KDEE

- Erforschung der grundlegenden Randbedingungen für den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung.
- Erforschung und Entwicklung von neuen Systemelementen und Strukturen für dezentrale elektrische Energieversorgungssysteme, sowohl im überregionalen Verbund als auch in isolierten Inselnetzen.
- Entwicklung von Grundsatzlösungen für Geräte, Anlagen und Systeme zur sicheren, effizienten und nachhaltigen Versorgung mit Strom und Wärme unter Berücksichtigung aller ökonomisch sinnvollen Energieressourcen.
- Analyse sowie technisch und wirtschaftlich optimierte Auslegung und Regelung von elektrischen Verteilungsnetzen.
- Erforschung und Entwicklung von Konzepten und technischen Grundsatzlösungen für ein Leistungs- und Energiemanagement mit zentralen und dezentralen Anlagen (Erzeuger, Speicher, Verbraucher).
- Entwicklung neuartiger Aktoren und Antriebe und deren Peripherie für Fahrzeuge sowie Regelung und Betriebsführung von vernetzten Energielieferanten und Energiespeichern in mobilen Systemen und Bordnetzen.
- Ausbildung hoch qualifizierter und promovierter Ingenieure der Energietechnik.

#### Current and future focus of activities at the KDEE

- *Research of the fundamental boundary conditions for the transition to a sustainable energy supply.*
- *Research and development of new system elements and structures for decentralized electrical energy supply systems in an interconnected power system as well as in isolated island networks.*
- *Development of principal solutions for appliances, equipment and systems for a secure, efficient and sustainable supply with power and heat under the consideration of all economic feasible energy sources.*
- *Analysis and technological and scientifically optimized design and control of electrical distribution systems.*
- *Research and development of concepts and fundamental technological solutions for a power and energy management with central and decentral units (generators, storage, consumers).*
- *Development of new actors and drives and their periphery for vehicles as well as control and system management of networked energy supplies and energy storages in mobile systems and on-board electrical systems.*
- *Education of qualified engineers with doctorates in power engineering.*

## Das KDEE ist dann zukünftig in folgende Säulen gegliedert

### ▪ **Stromrichtersysteme für Gleichstrom-Generatoren und Speicher**

Energiewandler zur Wandlung von Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt – z. B. zur Nutzung in Photovoltaiksystemen oder für elektrochemische Speicher sowie für Brennstoffzellen – und zur Verbindung von Gleichspannungssystemen mit unterschiedlichen Spannungen im stationären Bereich und im Bereich von Fahrzeugen.

### ▪ **Stromrichtersysteme für drehzahlvariable Wechselstrom-Quellen**

Energiewandler für die Kopplung frequenz-variabler oder von der Netzfrequenz stark abweichender Wechselstromquellen an ein frequenzstarres Netz, wie z. B. in innovativen Blockheizkraftwerken sowie drehzahlvariablen Wasserkraft- und Windgeneratoren.

### ▪ **Windkrafttechnik**

Triebstrangkonzzepte und regelungstechnische Konzepte der Netzanbindung von Generatoren mit variabler Drehzahl sowie Windkraftanlagen als systemtechnische Gesamtkonzepte.

### ▪ **Leistungselektronische Konverter für industrielle Applikationen**

Nutzung des über drei Jahrzehnte aufgebauten Know-how in der Stromrichtertechnik zur Aufbereitung elektrischer Energie in industriellen Prozessen.

### ▪ **Elektrische Netze**

Auslegung, Regelung und Betriebsführung des elektrischen Netzes mit Berücksichtigung regelbarer dezentraler Erzeuger, Speicher, Verbraucher sowie Entwicklung neuer Netzbetriebsmittel und Erforschung der Grundlagen ihres optimalen Einsatzes.

### ▪ **Integrierte Energiesysteme mit ihren theoretischen Grundlagen und ingenieurgemäß realisierten Komponenten**

Strukturermittlung, physikalisch-elektrische Abbildung, deterministische und probabilistische Abbildung der Verbindung zwischen Angebots- und Verbrauchsgrößen, Nutzung physikalisch-technischer Prozesse zur Energiegewinnung, Nutzungsdauer von Komponenten, *Costs of Ownership* für Komponenten und Subsysteme

### ▪ **Komponenten und Anlagen zum Aufbau und Betrieb von Übertragungsnetzen**

Isolationssysteme für hohe elektrische Feldstärken, fehlertolerante und feldsteuernde Isolationsmaterialien für die Hochspannungstechnik, Monitoringsysteme für die Betriebsüberwachung von Anlagen, neue Prüf- und Messverfahren zur Fehlerdetektion in Isolierungen.

## *The KDEE is then in the future structured into the following columns*

### ▪ **Power converter systems for DC-generators and energy storage**

*Conversion of DC-current into AC-current and vice versa. For example in photovoltaic systems or electro-chemical storages such as fuel cells or in the connection of DC-systems with different voltage levels in stationary or in automobile applications.*

### ▪ **Power converter systems for variable speed AC-sources**

*Coupling of systems with AC sources with a variable frequency output or an output frequency that deviates significantly from the grid frequency to a fixed frequency network. Examples include innovative combined heat and power generation plants as well as variable speed hydroelectric and wind power plants.*

### ▪ **Wind power technology**

*Drive train concepts and control techniques for the grid connection of generators with variable speed as well as wind power plants as overall system concepts.*

### ▪ **Power electronics converters for industrial applications**

*Use of know-how accumulated in the field of power conversion technology for the conditioning of electric energy in industrial processes in over 30 years.*

### ▪ **Power Systems**

*Design, control, and operation of power systems considering controllable distributed generation units, storage systems and loads as well as the development of novel distribution system equipment and research of the fundamental of the use of such equipment.*

### ▪ **Integrated energy systems with their theoretical foundations and realized components**

*Determination of structure, physical and electrical mapping, deterministic and probabilistic mapping of the connection between supply and demand, use of physical-technical processes for energy generation, lifetime of components, cost of ownership of components and subsystems.*

### ▪ **Components and equipment to construct and operate transmission networks**

*Isolation systems for high electric fields, fault-tolerant and field-guiding isolation materials for high voltage technology, monitoring systems for the operation monitoring of equipment, new test and measuring procedures for fault detection in isolations.*

# U N I K A S S E L V E R S I T Ä T

Forschung im Bereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (FV ee<sup>2</sup>)  
*Research on Renewable Energies and Energy Efficiency*

„Technik Dezentraler  
Energieversorgungssysteme“  
*Decentralized Power Supply  
Systems Technologies*

- Nachhaltige Bioenergie-  
bereitstellung  
*Sustainable bio-energy  
production*
- Aggregate zur Kraft-Wärme-  
Kopplung (Mikro KWK)  
*Micro CHP systems*
- Solares Heizen und Kühlen  
*Solar heating and cooling*

**KDEE**  Kompetenzzentrum für  
Dezentrale Elektrische  
Energieversorgungstechnik  
*Centre of Competence  
for Distributed Electric  
Power Technology*

- Elektr. Energieversorgungs-  
systeme / Leistungselektronik  
*Electric power supply  
systems / power electronics*
- Rationelle Energiewandlung  
*Efficient energy conversion*
- Energietechnische System-  
analyse / Energiewirtschaft  
*Technical analysis of energy  
systems / Energy economy*

„Energieeffizienz-  
technologien“  
*Energy efficient  
technologies*

- Energieeffizienz in der Industrie  
*Energy efficiency in industry*
- Effiziente Gebäude  
*Efficiency in buildings*
- Low Exergy Systeme  
*Low Exergy Systems*
- Haustechnik  
*Utilities management /  
automation*
- Thermische Speicher  
*Thermal storage*

Forschungsverbund  
Fahrzeugsysteme  
*Research association  
Vehicle Systems*

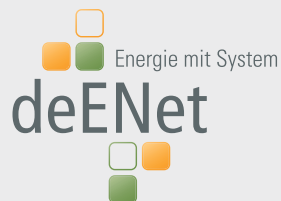


U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T

 **Fraunhofer**  
IWES

 **Fraunhofer**  
IBP

  
Zentrum für  
Umweltbewusstes  
Bauen e.V.



Regionale Industrie-, Forschungs- und Netzwerkk Kooperationen  
*Regional Industry and research network cooperation*

Zusammenwirkung der Akteure auf dem Gebiet Erneuerbare Energien und Energieeffizienz in der Universität Kassel  
und ihrem Umfeld in einer Übersicht.

*Overview about Research for Renewable Energies and Energy Efficiency within the University of Kassel and around.*

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**DAS FACHGEBIET ELEKTRISCHE ENERGIE-  
VERSORUNGSSYSTEME (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. Besonders enge Zusammenarbeit besteht mit dem 1988 durch den damaligen Fachgebietsleiter Prof. Kleinkauf gegründeten „Institut für Solare Energieversorgungstechnik“ (ISET e. V.), heute: Fraunhofer IWES (Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik) und der SMA Solar Technology AG.

SMA wurde 1981 von Prof. Werner Kleinkauf und den wissenschaftlichen Mitarbeitern Dipl.-Ing. Günther Cramer, Dipl.-Ing. Peter Drews und Dipl.-Ing. Reiner Wettlaufer als „Spin-off“ aus der Universität Kassel heraus gegründet und ist heute eines der führenden Unternehmen im Bereich der Solartechnik.

Enge Verbindungen werden mit dem Fraunhofer IWES gepflegt durch gemeinsame Projekte und die Betreuung von Diplomanden und Doktoranden. Bei einem Mitarbeiterstamm von derzeit fast 30 Personen im KDEE hat sich auf dem Gebiet der Energieversorgung insgesamt ein leistungsfähiger Forschungsschwerpunkt an der Universität Kassel entwickelt. Dadurch können sowohl gute Forschungsmöglichkeiten als auch breitgefächerte Studieninhalte geboten werden.

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

▪ Grundlagen der Energietechnik	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias
▪ Leistungselektronik	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias
▪ Leistungselektronik für Mechatroniker	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias
▪ Magnetische Bauelemente	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias
▪ Leistungselektronik für regenerative und dezentrale Energieversorgungssysteme	Prof. Dr.-Ing. M. Meinhardt, SMA Solar Technology AG
▪ Simulation regenerativer Energieversorgungssysteme	Prof. Dr.-Ing. M. Meinhardt, SMA Solar Technology AG
▪ Nutzung der Windenergie	Dr.-Ing. Mathias Käbisch / Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier (bis WS 12/13)
▪ Regelung und Netzintegration von Windkraftanlagen	Dr.-Ing. Mathias Käbisch / Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier (bis SS 2013)
▪ Grundlagen der Elektro- und Messtechnik	Dr.-Ing. Mathias Käbisch
▪ Energiewirtschaftliche Aspekte der Energietechnik I und II	Prof. Dr.-Ing. H. Bradke, FhG-ISI Karlsruhe
▪ Seminar Netzintegration dezentraler Einspeisesysteme	Dr.-Ing. Mathias Käbisch
▪ Seminar Windkrafttechnik	Dr.-Ing. Mathias Käbisch
▪ Praktikum Leistungselektronik / Energietechnisches Praktikum	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias / Dr.-Ing. Mathias Käbisch
▪ Speicher in der Energieversorgung	Dr.-Ing. Mathias Käbisch
▪ Brennstoffzellen in der Energieversorgung	Dr.-Ing. Mathias Käbisch

*Teaching and research at the department 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. A special cooperation exists with the former “Institute for Solar Energy Technology” (ISET e. V.), today: Fraunhofer IWES (Institute for Wind Energy and Energy System Technology), which was founded 1988 by the former head of the EVS department Prof. Werner Kleinkauf.*

*“SMA was founded by Prof. Werner Kleinkauf and the research assistants Dipl.-Ing. Günther Cramer, Dipl.-Ing. Peter Drews and Dipl.-Ing. Reiner Wettlaufer as a “Spin-off” from the University of Kassel in 1981 and today is one of the leading companies in the solar technology industry.*

*Close connections with the Fraunhofer IWES are maintained through common projects and the supervision of doctoral candidates. With currently almost 30 employees the KDEE has established itself in the area of energy supply systems as a powerful research focus at the University of Kassel. This allows good research opportunities as well as a broad spectrum of subjects for study to be offered.*





Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. **Peter Zacharias,**

Leiter des Fachgebiets EVS

Dr.-Ing. **Mathias Käbisch,**

Stellvertretender Leiter des Fachgebiets EVS

Dr.-Ing. **Samuel Araújo,**

Manager von F&E-Projekt-Teams

Prof. Dr.-Ing. **Harald Bradke,**

Leiter des Competence Centers Energiepolitik und Energiesysteme beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

Prof. Dr.-Ing. **Mike Meinhardt,**

Leiter des Wissensmanagements der SMA Solar Technology AG

Prof. (apl.) Dr.-Ing. habil. **Siegfried Heier,**

pensioniert 2012)

Prof. Zacharias ist verantwortlicher Leiter des Fachgebiets EVS. Die Lehrorganisation und der Anteil der auf Brennstoffzellenanwendungen bezogenen Forschung obliegt Dr.-Ing. Mathias Käbisch als akademischem Oberrat des Fachgebiets EVS. Dr.-Ing. Samuel Araújo koordiniert im operativen Geschäft organisatorisch und inhaltlich die Forschungsaufträge des Fachgebiets.

Seit vielen Jahren sind uns die beiden externen Wissenschaftler Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, Leiter des Competence Centers Energiepolitik und Energiesysteme beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Dr.-Ing. Mike Meinhardt, Leiter des Wissensmanagements der SMA Solar Technology AG eine wertvolle Ergänzung in der Lehre. Bis zu seiner Pensionierung zum Semesterende SS2012 wirkte Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier aktiv in der täglichen Lehre mit und übergab dann während einer Übergangszeit seine Lehraufgaben an Dr. Käbisch. Derzeit nimmt er noch Lehraufgaben im REMENA-Kurs des Fachbereichs 16 wahr.

*Prof. Zacharias is head of the department EVS. Organization of teaching and the research in the area of fuel-cell applications are responsibilities of Dr.-Ing. Mathias Käbisch as senior lecturer at the department EVS. Dr.-Ing. Samuel Araújo coordinates both content and organization of research projects at the department.*

*Since a number of years the two external scientists Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, head of the Competence Centre Energy-policy and Energy-systems at the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation research, and Dr.-Ing. Mike Meinhard, head of enterprise knowledge management at SMA Solar Technology AG, are a valuable addition to our teaching team. Until his retirement at the end of summer semester 2012 Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier was active in every day teaching and handed over his teaching commitments to Dr. Käbisch. Currently, he still teaches courses in the REMENA-course."*

Ansprechpartner  
PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel  
**DAS FACHGEBIET ENERGIEMANAGEMENT  
UND BETRIEB ELEKTRISCHER NETZE (e<sup>2</sup>n)**

title  
**DEPARTMENT OF ENERGY MANAGEMENT  
AND POWER SYSTEM OPERATION (e<sup>2</sup>n)**



**Energiemanagement und  
Betrieb elektrischer Netze**



Prof. Dr.-Ing. Martin Braun  
Leiter des Fachgebiets e<sup>2</sup>n  
Abteilungsleiter Betrieb  
Verteilungsnetze am Fraunhofer IWES

Das Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e<sup>2</sup>n) wurde im September 2012 im Fachbereich Elektrotechnik / Informatik gegründet. Das Fachgebiet als Teil des KDEE und in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IWES vertritt in Forschung und Lehre 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.

**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, z. B. Multi-Agenten-Systeme für zelluläres Systemdesign
- Verfahren für automatisierte Netzplanung / optimiertes Systemdesign
- Lösungen für robustes Systemverhalten im Fehlerfall und für den Netzwiederaufbau

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

Das Fachgebiet ist Teil des Kompetenzzentrum 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 u. a. auf gemeinsam betreute studentische Abschlussarbeiten und Promotionen, Angebot von Lehrveranstaltungen durch Fraunhofer-Wissenschaftler, Forschungsprojekten und die gegenseitige Bereitstellung von Infrastruktur. Damit können ausgezeichnete Forschungsmöglichkeiten und breitgefächerte Lehrveranstaltungen angeboten werden.

*The department of Energy Management and Power System Operation (e<sup>2</sup>n) 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 power systems, especially:***

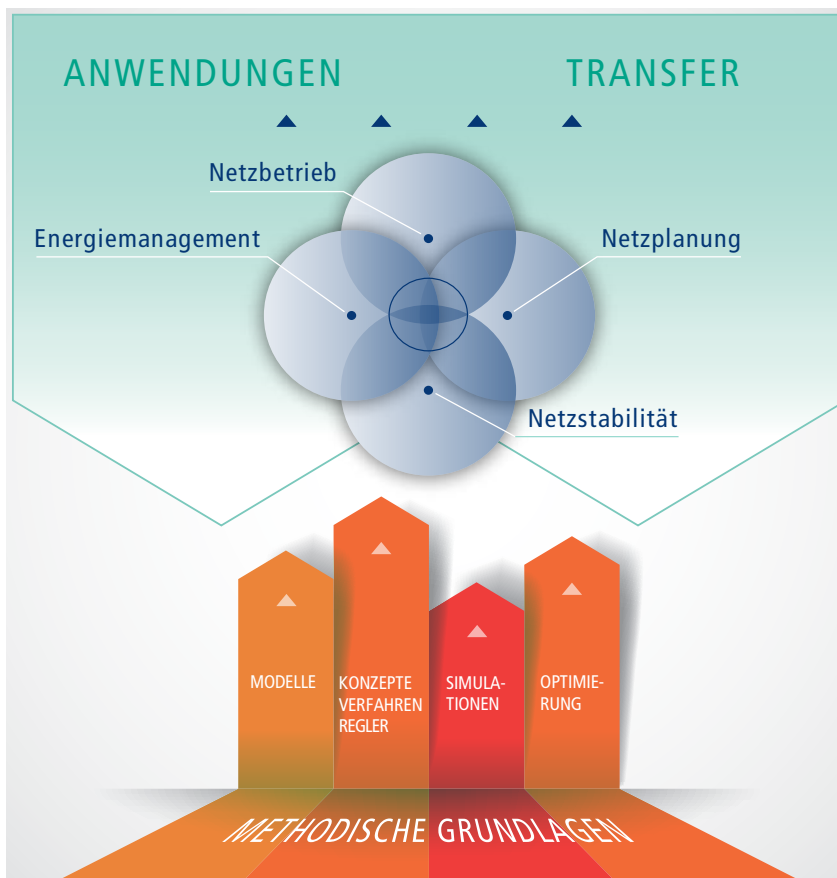
- *Control and coordination of generators, loads, storage and grid equipment for the provision of energy and ancillary services*
- *Approaches for energy and system management/automated solutions for decentralized supply structures with different concepts such as aggregation and incentive-based strategies, e. g. multi agent systems for cellular system design*
- *Concepts for automated grid planning / optimal system design*
- *Solutions for robust system response in case of failure and for grid restoration*

*An important 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.*

*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.*

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

▪ <b>Berechnung elektrischer Netze</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Intelligente Stromnetze</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Seminar Intelligente Stromnetze</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun und Mitarbeiter des Fraunhofer IWES
▪ <b>Energiewandlungsverfahren</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Photovoltaik Systemtechnik (Teil 1 und 2)</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Power System Dynamics</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Energiemanagement in Gebäuden</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun und Mitarbeiter des Fraunhofer IWES
▪ <b>Softwarepraktikum Netzsimulation</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
▪ <b>Windenergie als Teil des Energieversorgungssystems</b>	Dr.-Ing. Kurt Rohrig, Fraunhofer IWES
▪ <b>Praktikum Photovoltaik</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun / Bernd Gruß
▪ <b>Energietechnisches Praktikum I/II</b>	Prof. Dr.-Ing. Martin Braun / Bernd Gruß



Forschungsprogramm e<sup>2</sup>n  
 Research program e<sup>2</sup>n

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**DAS KDEE IST MIT DEN FACHGEBIETEN EVS  
UND e<sup>2</sup>n SIND MITGLIEDER DES FORSCHUNGS-  
VERBUNDS FAHRZEUGSYSTEME (FAST)**

title

**THE DEPARTMENTS EVS AND e<sup>2</sup>n OF THE KDEE  
ARE MEMBERS OF THE UNIVERSITY 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. Ein wichtiger Aspekt ist dabei auch 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.*

*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.*

Ansprechpartner

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

Titel

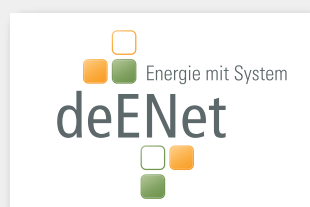
**FORSCHUNGSKOOPERATIONEN**

title

**RESEARCH COOPERATIONS**

Das KDEE entwickelt gemeinsam mit anderen Fachgebieten aus der Universität Kassel heraus zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Lösungen für die Net-zintegration von Erneuerbaren Energiequellen. Mit dem regionalen Netzwerk „deENet – Energie mit System“ ([www.deenet.org](http://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, E.ON | Mitte (jetzt EAM), AREVA, POLYMA im Bereich der dezentralen Versorgungssysteme sowie der Infineon AG und CREE Inc. 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. Das Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e. V. gegründet 2003 in Kassel mit mehr als 100 Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Dienstleistern wird dabei zum schnelleren Transfer der Forschungsergebnisse mittels Ingenieurdienstleistungen, Weiterentwicklungen, wissenschaftlichen Geräte und im Vertrieb einbezogen.



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

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 weiter ausgebaut.

In Verbindung von Forschung und Lehre werden 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.

Für ganzheitliche Lösungen bei der technischen Integration dezentraler Energieerzeugungssysteme für Strom und Wärme in Gebäude wird die Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) und der Abteilung Energiesysteme des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Kassel weiter entwickelt.

*The KDEE, in cooperation with further departments from the University of Kassel and with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES), develops device-related solutions for the grid integration of renewable energy sources. By means of close cooperation with the regional network deENet ([www.deenet.org](http://www.deenet.org)), the transfer of scientific-technical results from the university to the region will be ensured. The already existing long lasting cooperations with SMA Solar Technology AG, e.on|Mitte, AREVA and POLYMA in the area of decentralized power supply systems, as well as cooperation with Infineon AG and CREE Inc., will be expanded to additional partners.*

*The purpose of these cooperations is to develop the core areas of energy technology thus boosting the region of Kassel. The intellectual property rights are managed by UniKasselTransfer GmbH. The Institute of Decentralized Energy Technology GmbH i. G., University of Kassel, aims to accelerate the transfer of the research results by means of engineer's services, further developments, building of scientific tools and involvement in sales.*



**European Centre of Power  
Electronics (ECPE)**

*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.*

*The cooperation with the Center for Environmentally conscious Construction (ZUB) and the Department of Energy Systems from the Fraunhofer Institute for Building Physics in Kassel will be further developed in order to provide complete solutions for technical integration of decentralized energy generation systems for electrical power and heat in buildings.*



## 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)

## 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)



Federal University  
of Ceará / Brazil



University Federal of Santa  
Maria, Santa Maria / Brazil



Düzce  
University / Turkey



University  
of Salerno / Italy



Tomsk Polytechnical  
University / Russia



Damascus  
University / Syria



International Council on Large  
Electric Systems



Asian Institute of Development for  
Community Technology and Technology at  
Chiang Mai Rajabhat University



Fraunhofer Institut für Windenergie  
und Energiesystemtechnik



Deutsch-Französisches  
Forschungsinstitut  
Saint-Louis

Insbesondere über das Netzwerk EAWE ist eine Kooperation mit der Leibniz-Universität Hannover und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg gegeben. Neben dem Engagement im regional und über-regional agierenden deENet e. V. ist das KDEE im Verband Deutscher Ingenieure (VDI), dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) bzw. der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) verankert.

Die begonnenen Kooperationen mit den Universitäten von Salerno (I), Fortaleza (BR) und Tomsk (RU) sowie dem Deutsch-Französischen Forschungsinstitut (ISL) in Saint-Louis (F) werden ausgebaut, indem zunächst Wissenschaftlern und Studenten die Möglichkeit gegeben wird, Teile ihrer Ausbildung an anderen Standorten zu absolvieren und dann aus diesen Kontakten gemeinsame Studiengänge entwickelt werden. Eine Aufnahme von Kooperationen mit Lehrstühlen der Universitäten Sydney (AUS) und Eindhoven (NL) werden im Rahmen des DAAD entwickelt.

Particularly by means of the EAWE there is a cooperation between Leibniz-Universität Hannover and Otto-von-Guericke University Magdeburg. Besides regional and supra-regional engagement through deENet e. V., the KDEE is also a member of the Association of German Engineers (VDI), German Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE) and the Society of Energy Technology (ETG).

The already existing cooperations with the Universities of Salerno (Italy), Fortaleza (Brazil) and Tomsk (Russia) as well as the German-French Research Institute (ISL) in Saint-Louis (France) will be expanded, with the exchange of scientists and students for training purposes, possibly leading to development of a combined degree program.



Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO (EVS), BERND GRUSS (E<sup>2</sup>N)

Titel

**LABOR-INFRASTRUKTUR /  
SERVICEANGEBOTE**

title

**LABORATORY INFRASTRUCTURE /  
SERVICE OFFERS FOR INDUSTRY****KDEE – Fachgebiete EVS und e<sup>2</sup>n**

Für die Umsetzung und Verwirklichung von gerätetechnischen Lösungen ist es unerlässlich, sie unter Laborbedingungen detailliert zu prüfen. Das KDEE bietet für diesen Einsatz Laborplätze mit einem Equipment auf dem neusten Stand der Technik, welches das gesamte Spektrum der dezentralen elektrischen Energieversorgungstechnik, sowie der Regelung und Betriebsführung von vernetzten Energiesystemen und Energiespeichern in mobilen Systemen, wie auch Bordnetzen abdeckt. Für die Erforschung von Antriebs- und Generatorlösungen aller Art stehen Maschinenhallen zur Verfügung, die den Bereich der Energieversorgungstechnik komplettieren. Die so geschaffene Infrastruktur bietet ein Serviceangebot für die Industrie, welches für unsere Kooperationspartner einen großen Vorteil in der Entwicklung bedeutet.

Als Erweiterung der Laborarbeitsplätze wurde ein zentraler Arbeitsbereich eingerichtet, bei dem sich alles um das Thema „Löttechnik“ dreht. Angefangen beim Fräsen von Platinen über das Vollkonvektions Reflow- Löten von SMD Bauteilen bis hin zum Rework- Löten ist für den Prototypenbau alles vorhanden. Zur Begutachtung der Lötergebnisse und zur Fehlersuche stehen u.a. hochwertige Mikroskope zur Verfügung.

Für Messaufbauten und grobere Arbeiten steht eine Mechanikwerkstatt zur Verfügung, in welcher Arbeiten für den Prototypenaufbau und Sonderaufgaben erledigt werden können.

Ein wichtiger Focus am Institut liegt in der „praktischen“ Ausbildung der Studenten. Dafür wurde 1993 eigens ein Praktikumslabor gegründet, in dem Studierenden die Möglichkeit geboten wird ihre theoretischen Kenntnisse in die Praxis umzusetzen und zu vertiefen. Ein Teil des vorhandenen Lehrangebots im Praktikum dreht sich dabei um das Thema der „modernen Schaltnetzteile“.

Zum Ende des Jahres 2014 wird das energietechnische Praktikum in Rahmen des Hochschulpaktes 2020 um aktuelle Leistungselektronische Komponenten und einen Brennstoffzellenversuchstand für die



Rapid PCB Prototyping

*For the implementation and construction of electronic components tests under laboratory conditions are necessary. For this the KDEE provides state of the art laboratories and equipment that meets all requirements for decentralized power supply technologies, control and operation management of interconnected energy supplies and mobile systems. Furthermore investigation of all kind of engines is possible within the machine hall, that completes the range of power supply technology. Our infrastructure offers services for industry that provide a huge benefit for our co-operation partners.*

**Summary of our infrastructure:**

- Capability for applications up to 2000 Vdc voltage and 64 kW power
- Bidirectional power supply (e.g. for battery simulator) 500 V dc and 20 kW
- 3-Phase load for 400 Vac voltage and 30 kW power
- Power and efficiency measurements and evaluation with high precision
- Evaluation of grid-compatibility using frequency analyzer
- Rapid Prototyping Tools, Hardware in the Loop Simulation
- Automated high bandwidth commutation cell for characterization of power semiconductors
- Machine hall with load machine up to a power of 200 kW at 720 Nm
- Calorimeter for precise determination of losses from magnetic components
- High bandwidth precision impedance analyser (3 MHz with BIAS Units up to 75 A<sub>dc</sub>) for inductors, transformers and other components
- High bandwidth precision impedance analyser (up to 40 MHz) for the characterization of EMC-Filters and other components
- Climate chamber with controlled temperature in the range of -20 to 180°C
- Climate Test-chamber with high temperature change rate (from -40 to 180°C, and with controlled humidity in the range of 10 to 98% r.H.)
- Grid simulation software (PowerFactory, SinCal, SimPowerSystems etc.)
- Cluster node for fast grid simulations
- IT-Infrastructure for handling large amount of data
- OPAL-RT (Real-Time Hardware-in-the-loop Power System Simulation)



Versuchsstand Praktikum Leistungselektronik | *Test stand for the power electronics laboratory*

studentische Ausbildung erweitert. Weiterhin besteht für die Studenten im Rahmen von Projekt-, Bachelor- sowie Masterarbeiten und in Form der Tätigkeit als Hilfwissenschaftler die Möglichkeit an aktuellen Projekten mit erheblichem praktischem Anteil mitzuarbeiten.

#### Auszug aus der Infrastruktur:

- Applikationen realisierbar bis zu einer Spannung von 2000 VDC und einer Leistung von 64 kW
- Bidirektionale Stromversorgung (z. B. als Batterie-Simulator) 500 Vdc und 20 kW
- Dreiphasige Lasten für einen Spannungsbereich 400 V und einer Leistung bis 30 kW
- Leistungs- u. Wirkungsgradmessung / Bewertung mit erhöhter Präzision
- Evaluation von Netzkompatibilität und Auswirkungen mittels Frequenzanalysator
- Rapid-Prototyping Tools, Hardware-in-the-Loop Simulationen
- Hochbandbreitige automatisierte Kommutierungszelle zur Charakterisierung von Leistungshalbleitern
- Maschinenhalle mit Belastungsmaschinen bis zu einer Leistung von 200 kW bei 720 Nm
- Kalorimeter zur präzisen Bestimmung der Verluste von magnetischen Bauelementen
- Hochbandbreitiger Impedanzanalysator (3 MHz mit BIAS Einheiten bis 75 A) für Drossel, Transformatoren und andere Komponenten
- Hochbandbreitiger Impedanzanalysator (bis 40 MHz) zur Charakterisierung von EMV-Filtern und anderen Komponenten
- Klimakammer mit geregelter Temperaturbereich von -20 bis 180 °C
- Klima-Prüfschrank mit erhöhter Änderungsgeschwindigkeit (von -40 bis 180 °C, und geregelte Feuchtigkeit im Bereich 10...98 % r.F)
- Netzberechnungsprogramme (PowerFactory, SinCal, SimPower-Systems etc.)
- Clusterknoten für beschleunigte Netzberechnungen
- IT-Infrastruktur für die Verarbeitung großer Datenmengen
- EMV Messsystem
- Hybrid Rework System
- Leistungsverstärker
- Analytische Digital Mikroskopie
- OPAL-RT (Real-Time Hardware-in-the-loop Power System Simulation)



Digitales Mikroskop | *Digital microscope*

*In cooperation with Fraunhofer IWES our service offer could be enlarged to other areas. The application development systems for implementation of state of the art modular decentralized energy concepts are shown below:*

#### In cooperation with Fraunhofer IWES:

- Demonstration Center for Modular Power Supply Systems
- Technology DeMoTeC up to 500 kVA
- Accredited EMC Test Laboratory
- Virtual Battery with ISET-LAB to investigate Lead Acid
- Battery Performance in real Power Supply Systems
- Medium Voltage Line Simulator
- Battery Laboratory for Automatic Testing and Monitoring up to  $\pm 2000 \text{ A} / 60 \text{ V} \dots \pm 400 \text{ A} / 400 \text{ V}$
- PV Test Labs ~15 kWp and Utilized Hybrid Systems
- DER-LAB
- IWES-SysTec: Test center for intelligent grids and electromobility

*In cooperation with Fraunhofer IWES our service offer could be enlarged to other subareas. The application development systems for implementation of state of the art modular decentralized energy concepts are shown below:*



Hochbandbreitiger Impedanzanalysator  
*High Bandwidth impedance analyser*



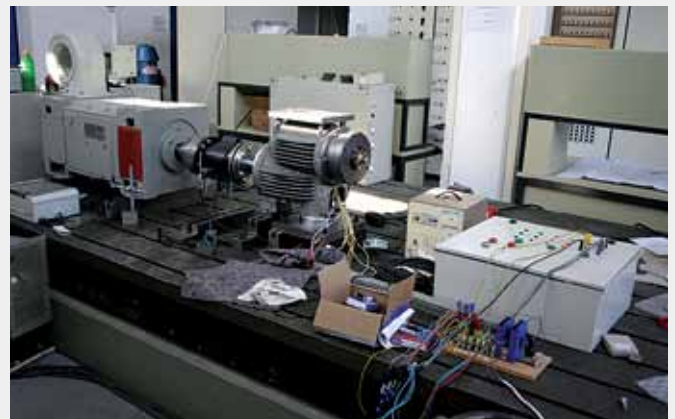
DeMoTec Halle (gemeinsames Labor von Fraunhofer IWES und Uni Kassel)

*DeMoTec Test Center (Lab jointly operated by Fraunhofer IWES and University of Kassel)*

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut IWES ist das Serviceangebot um weitere Teilgebiete erweitert. Die für die Realisierung von modernen, modularen, dezentralen und mobilen Energiekonzepten nötigen Entwicklungsumgebungen sind im Folgenden dargestellt.

#### **In Kooperation mit Fraunhofer IWES:**

- Demonstrationshalle für Modulare Energieversorgungstechnologie „DeMoTec“ mit bis zu 500 kVA
- Akkreditiertes EMV Test-Labor
- Virtuelle Batterie mit ISET-LAB für Untersuchungen an Bleibatterie
- Performance in realen Energieversorgungssystemen
- Mittelspannungsnetznachbildung
- Batterie-Laborator für automatische Tests und Monitoring mit bis zu  $\pm 2000\text{ A} / 60\text{ V} \dots \pm 400\text{ A} / 400\text{ V}$
- PV-Test Labore  $\sim 15\text{ kWp}$  und Utilized-Hybrid-Systeme
- DER-LAB
- IWES-SysTec: Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität



AeroSmart Triebstrang

*AeroSmart Transmission*



Leistungshalbleiter Prüfstand

*Power Semiconductors Test Bench*



## PV-Labor im Fachgebiet e<sup>2</sup>n

Im Jahr 2014 wurden ein PV-Inselsystem und ein PV-Netzparallelsystem geplant und aufgebaut. Für diese Systeme schaffte das Fachgebiet e<sup>2</sup>n durch Mittel der Universität im Rahmen des Hochschulpaktes 2020 jeweils einen PV-Simulator und für das Netzparallelsystem eine Netznachbildung mit Rückspeisemöglichkeit an.

Die Wechselrichter (WR), der Batteriestromrichter und das Mess- und Auswertesystem sind von der Firma SMA zur Verfügung gestellt worden.

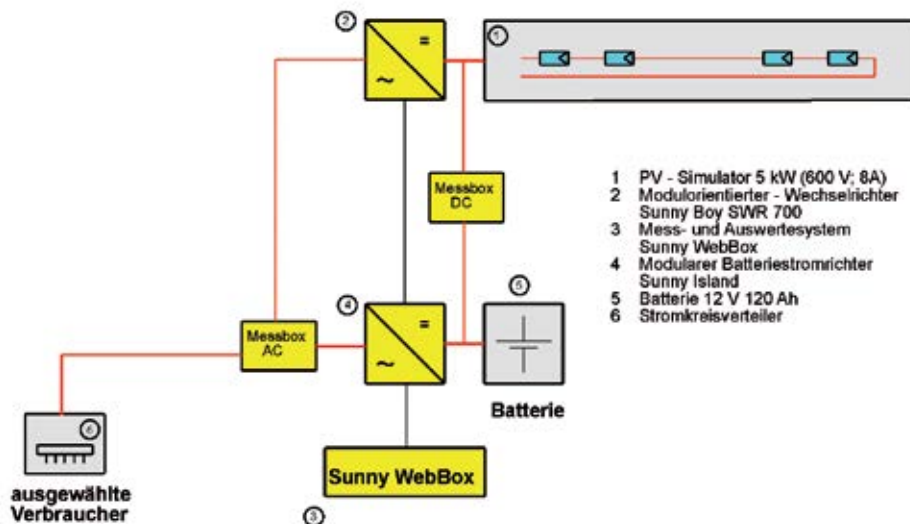
Die PV-Simulatoren können parallel oder in Serie geschaltet auch an andere WR-Systeme angepasst werden. Verschiedene Einflussgrößen auf das Betriebsverhalten eines realen PV-Generators wie unterschiedliche Einstrahlungswerte, Abschattungen Modultemperaturen usw. werden durch das System simuliert und realgetreu nachgebildet.

## Photovoltaics laboratory of department e<sup>2</sup>n

A stand-alone PV system and PV grid-connected system were planned and constructed in 2014. For these systems, the Department e<sup>2</sup>n used university funds to purchase a PV simulator and a Line Impedance Stabilisation Network (LISN) with recovery option for the grid-connected system.

The inverter, the battery inverter and the measurement and evaluation system have been provided by SMA.

The PV simulators can be operated in parallel as well as in series and can be adjusted to other inverter systems. Various factors influencing the performance of a real PV generator, such as different irradiation values, shading, module temperatures, etc., are simulated by the system.



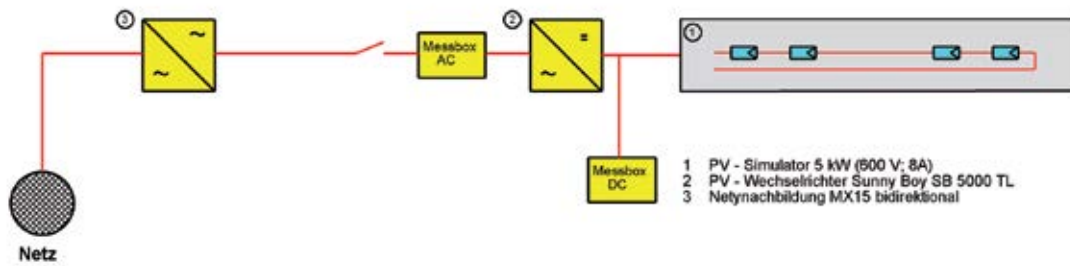
PV Inselsystem

Die Netznachbildung ist eine programmierbare AC-Speisequelle, 15kVA, 1-phasig mit automatischem, unterbrechungsfreiem und stufenlosem Übergang zwischen Quellen- und Senkenbetrieb.

Mit diesem Aufbau lassen sich unterschiedlichste Netzszenarien einstellen.

The LISN is a programmable AC power source, 15kVA, 1-phase with automatic, uninterrupted and stepless transition between source and sink operation.

With this construction, a wide variety of network scenarios can be set up.



PV-Netzparallelsystem

### Mögliche Laborversuche:

- Aufzeichnen von Energieflüssen bei verschiedensten Einstrahlungsverhältnissen und Lastfällen
- Abregeln bei Energieüberangebot (Frequenzanhebung) – Wie wird der WR abgeregelt?
- Einfluss der einstellbaren Netzparameter im WR – Wie ist das Regelverhalten des WRs?
- Wirkungsgrad von Sunny Boy und Sunny Island bestimmen
- Leistungsbegriffe vertiefen (Blindleistungsbereitstellung durch WR)
- Auswirkungen von langen Zuleitungen und zu geringen Querschnitten auf Netzanschluss und WR
- Verhalten des WRs und Messwerte am Netzanschlusspunkt (Spannung, Frequenz, Leistung) bei Änderungen der Netzparameter an der Netznachbildung

### Software im Fachgebiet e<sup>2</sup>n

Das Fachgebiet e<sup>2</sup>n setzt aktuelle State-of-the-Art Simulationswerkzeuge in der Forschung und Lehre ein (z. B. PowerFactory und Sincal). Zusätzlich entwickelt das Fachgebiet beschleunigte und parallelisierte Verfahren für rechenintensive Aufgaben, wie etwa Jahresberechnungen und gesamtheitliche Smart Grid-Simulationen.

Das Fachgebiet e<sup>2</sup>n verfügt über einen Hardware-in-the-Loop (HIL)-fähigen Netzwerksimulator der Firma Opal-RT (angeschafft im Rahmen des Drittmittelvorhabens OpSim). Dieser erlaubt Echtzeitbetrachtungen im Millisekunden-Bereich und wird u.a. für detaillierte Tests von Netzbetriebsführungen und deren Zusammenspiel über mehrere Spannungsebenen hinweg eingesetzt. Auch Studenten haben die Möglichkeit mit diesem System Erfahrungen zu sammeln, da ein zweites System für studentische Hilfskräfte zur Verfügung steht.

Zusätzlich untersucht das Fachgebiet e<sup>2</sup>n bspw. die Auswirkung innovativer Betriebsführungen auf den Netzausbau im Verteilungsnetz. Kommerzielle Netzberechnungsprogramme verfügen jedoch oft nicht über die notwendige Flexibilität und Automatisierungsmöglichkeiten um große Mengen von Netzen mit verschiedenen Betriebsführungen zu betrachten. Deshalb wird am Fachgebiet e<sup>2</sup>n in Kooperation mit dem Fraunhofer IWES auf Basis von OpenSource-Netzberechnungsbibliotheken ein Framework für automatisierte Netzanalysen entwickelt.

### Possible laboratory tests:

- Recording of energy flows at various irradiation conditions and load cases
- Down-regulation of energy supply (frequency increase) – How will the inverter be regulated?
- Influence of the adjustable parameters in the network – How is the control behavior of the inverter?
- Determine efficiency of the Sunny Boy and Sunny Island
- Enhance understanding of complex power (reactive power supply by inverters)
- Impact of long supply lines and small cross-sections on network connection and inverters
- Behavior of the inverter and measured values at the grid connection points when changing the network parameters of the LISN

### Software of department e<sup>2</sup>n

The department e<sup>2</sup>n employs state-of-the-art simulation tools for research and teaching (e. g. PowerFactory, Sincal). Furthermore, our department develops approaches accelerated and parallelized high performance grid simulations, such as for long-term simulations and entire smart grid simulations.

The department e<sup>2</sup>n possesses a hardware-in-the-loop (HIL) enabled grid simulator by Opal-RT (purchased within the project OpSim). It allows for real-time investigations at time scales of milliseconds and is used for detailed tests of operational management systems, even across voltage levels. Students have the opportunity to gain experience with this system as well due to a second simulator especially available to student researchers.

Additionally, the department e<sup>2</sup>n investigates for instance the influence of innovative grid control strategies on the grid planning process in distribution systems. Commercial grid calculation software is however limited in flexibility and possibilities for automation, which is required to analyze a large amount of grids with different grid control strategies. That is why the department e<sup>2</sup>n in cooperation with the Fraunhofer IWES develops a framework for automated grid analysis based on open-source libraries.

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**PROF. DR. BRADKE IN BERATUNGSGREMIUM  
DER BUNDESREGIERUNG BERUFEN**

title

**PROF DR. BRADKE APPOINTED TO ADVISORY  
BOARD OF THE FEDERAL GOVERNMENT**

Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke ist seit Januar 2012 Leiter des Competence Centers Energietechnologien und Energiesysteme im Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Zuvor war er seit 1996 Leiter des Competence Centers Energiepolitik und Energiesysteme, nachdem er von 1993 bis 1996 Leiter der Forschungsgruppe Energie und stellvertretender Leiter der Abteilung Energie und Umwelt am Fraunhofer ISI war. Seit 1999 hat er einen Lehrauftrag für Energiewirtschaft an der Universität Kassel und ist dort seit 2010 Honorarprofessor.

Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in Untersuchungen zur technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung von Energietechnologien sowie zu Analysen von Kosten und Potenzialen der rationellen Energienutzung in Industrie und Gewerbe, die in den letzten Jahren durch die wissenschaftliche Begleitung der Identifizierung und Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in mehreren Hundert Betrieben empirisch untermauert werden.

Aus der offiziellen Verlautbarung des Sachverständigenrats der Bundesregierung (<http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Personen/DE/Mitarbeiter/Raete/Bradke.html>).

*Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke is head of the Competence Centre Energy Technology and Energy Systems at the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI since January 2012. Prior to this he was head of the Competence Centre Energy Policy and Energy Systems since 1996, after he was head of the Research Group Energy and deputy head of the department Energy and Environment at the Fraunhofer ISI from 1993 to 1996. Since 1999 he has a lectureship for energy economics at the University of Kassel and is an honorary professor there since 2010.*

*His key activities are studies of technological and economic development of energy technology as well as analyses of costs and potentials of efficient energy-use in industry and commerce, which have been underpinned empirically by the scientific monitoring of the identification and implementation of measures for energy efficiency in hundreds of companies.*

*From the official announcement of the expert advisory board of the federal government ([http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Personen/EN/CouncilMembers/Bradke\\_en.html](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Personen/EN/CouncilMembers/Bradke_en.html)).*



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**EHRENDOKTORWÜRDE FÜR SOLAR-PIONIER  
GÜNTHER CRAMER**

title

**HONORARY DOCTORATE FOR SOLAR PIONEER  
GÜNTHER CRAMER**

Die Universität Kassel hat Günther Cramer, einem Vorreiter bei der Entwicklung der Photovoltaik und bei den Erneuerbaren Energien und Gründer der Firma SMA Solar Technology AG, die Ehrendoktorwürde verliehen. Der Fachbereich Elektrotechnik/Informatik der Universität Kassel verlieh mit dem Beschluss des Senats der Universität Kassel vom 4. Dezember 2013 in Anerkennung seiner herausragenden wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Regenerativen Energietechnik Herrn Günther Cramer die Würde eines Doktors der Ingenieurwissenschaften Ehrenhalber (Dr.-Ing. E. h.).

„Mit seiner unternehmerischen Tätigkeit, aber ganz besonders auch mit einer Vielzahl an Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und auf Konferenzen sowie mit Erfindungsanmeldungen und Patenten hat Günther Cramer einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung leistungsfähiger Photovoltaik-Systeme geleistet“, sagte Universitäts-Präsident Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep. „Ohne ihn, seinen persönlichen Einsatz und seine Kreativität wäre Deutschland von der Vision einer hundertprozentigen dezentralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien ein ganzes Stück weiter entfernt.“

Dr. Günther Cramer studierte an der Universität Kassel Elektrotechnik, war hier wissenschaftlicher Mitarbeiter und gründete 1981 mit Peter Drews, Reiner Wettlaufer und Prof. Dr. Werner Kleinkauf die heutige SMA Solar Technology AG. Günther Cramer war bis 2011 Vorstandssprecher des Weltmarktführers für Photovoltaik-Wechselrichter. Der Universität Kassel ist Günther Cramer insbesondere als Mitglied des Hochschulrats verbunden. 2011 errichtete Günther Cramer zusammen mit Drews und Wettlaufer drei einzelne Stiftungen und die cdw Stiftungsverbund gGmbH als gemeinsame Tochter. Ziel des Verbundes ist es, die Verbreitung regenerativer Energieversorgungsunternehmen in Entwicklungsländern voranzutreiben sowie die Region Nordhessen zu unterstützen. 2012 zeichnete die Deutsche Bundesstiftung Umwelt Günther Cramer mit dem Deutschen Umweltpreis aus.

„Drei Grundgedanken ziehen sich durch alle Veröffentlichungen Cramers“, sagte Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias, Leiter des Fachgebiets Elektrische Energieversorgungssysteme, der die Ernennungsurkunde im Namen der Universität übergab. „Diese Grundgedanken sind: Die Technik muss einfach sein, sie muss kompatibel mit bestehenden Systemen der Energieversorgung sein und die Photovoltaik-Systeme müssen modularisiert und segmentiert sein. Diese Grundsätze haben sich weltweit durchgesetzt. Die Nutzung regenerativer Quellen hätte ohne sie nicht das derzeitige Niveau erreicht.“ (Aus der Presseerklärung der Universität Kassel vom 13. 1. 2014).

*The University of Kassel has awarded an honorary doctorate to Günther Cramer, a pioneer in the development of photovoltaics and renewable energies and founder of the company SMA Solar Technology AG. The faculty of electrical engineering and computer science of the University of Kassel awarded Mr. Günther Cramer the honorary doctorate of engineering (Dr.-Ing. E. h.) in recognition of his outstanding scientific accomplishments in the area of renewable energy technology by decision of the senate of the University of Kassel on 4<sup>th</sup> December 2013*

*“With his entrepreneurial activities but especially also with his multitude of publications in professional journals and at conferences as well as his invention disclosures and patents Günther Cramer has provided a major contribution to the development of effective photovoltaic systems.”, said University-President Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep. “Without him, his personal commitment and his creativity Germany would be a significant bit further away from the vision of a hundred per cent decentralised energy supply with renewable energies.”*

*Dr. Günther Cramer studied electrical engineering and the University of Kassel. In 1981 together with Peter Drews, Reiner Wettlaufer and Prof. Dr. Werner Kleinkauf Günther Cramer founded the company that today is SMA Solar Technology AG. Dr. Cramer was Chief Executive Officer of the world market leading company for photovoltaic inverters until 2011. Günther Cramer is connected with the University of Kassel particularly with regard to being a member of the university council. In 2011 Günther Cramer, together with Drews and Wettlaufer, founded three trusts and the cdw Stiftungsverbund gGmbH as a common subsidiary. The aim of the trusts is to promote the spread of renewable energy supply companies to developing countries and to support the region of northern Hesse. In 2012 Günther Cramers was awarded the German environment prize by the Bundesstiftung Umwelt foundation.*

*“Three basic ideas are at the root of all of Cramers publications” said Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias head of the department of electric power supply systems who handed over the certificate of appointment on behalf of the University. “These basic ideas are: The Technology has to be simple, it has to be compatible with existing systems of electrical power supply and the photovoltaic systems have to be modular and segmented. These principles have prevailed worldwide. Without them the utilization of renewable energy sources would not have reached the present level.” (From the press release of the University of Kassel, 13.01.2014)*

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

## UNSERE AKADEMISCHE SEMESTERFEIER IM FACHBEREICH ELEKTROTECHNIK/INFORMATIK (FB16)

Natürlich sind die Ingenieursdisziplinen Elektrotechnik/Informatik die schönsten Studienrichtungen der Welt! Deshalb gehört es sich auch, dass die erworbenen Abschlüsse gebührend gewürdigt und gefeiert werden. Daher wurde in den zurückliegenden Jahren auf Initiative des Dekanats und unter maßgeblicher organisatorischer Triebkraft von Frau Barbara Weidemann als ehemaliger Leiterin der Geschäftsstelle des Dekanats für die feierliche Zeugnisübergabe im FB16 eine zu jedem Semesterbeginn stattfindende akademische Semesterfeier eingerichtet. Diese (mittlerweile Tradition) wird auch mit viel Hingabe von den Mitarbeitern der Geschäftsstelle unter ihrer jetzigen Leiterin Frau Nicole Ternes gestaltet. Der VDE unterstützt dies seit Jahren großzügig mit Prämierungen von Jahrgangsbesten etc.



Die Übergabe der Ernennungsurkunde zum Professor an Dr. Mike Meinhardt  
*The appointment of Dr. Mike Meinhardt as Professor at the University of Kassel*

Auch wenn Talare in den 68er Jahren etwas anrühiges / altertümliches in der Öffentlichkeit darstellten, ist mittlerweile klar, dass bei der Verbindung von alten Traditionen mit modernen Inhalten das Bild der Universität Kassel als *universitas magistrorum et scholarium*, d. h. als Gemeinschaft der Lehrenden und Lernenden am besten verinnerlicht werden kann. Die Universitäten sind Bewahrer und Weiterentwickler von Wissen und Gedankengebäuden. Unser Fachbereich will daher den Alumni nicht nur eine Bindung für die Zukunft über exzellente Lehre sondern auch über die demonstrative Wertschätzung ihrer Arbeit anbieten. Dies wird regelmäßig gern angenommen.

Bis vor Kurzem hatten wir für die musikalische Umrahmung der Veranstaltung auch eine professionelle Band. Eine Umfrage im Fachbereichsrat ergab jedoch, dass erstaunlich viele der Professoren auch mit dem Spielen von Musikinstrumenten vertraut sind. Das Ergebnis ist die Professorenband „The Convocations“, die von Dekan Dirk Dahlhaus als Bandleader arrangiert wird und aus weiteren Mitgliedern wie Prof. Ludwig Brabetz (Melodiegitarre), Prof. Hartmut Hillmer (Violine), Dr. Michael Kunz (Gesang), Prof. Mike Meinhardt (Bassgitarre), Prof. Bernd Witzigmann (Bassgitarre) und Prof. Peter Zacharias (Violoncello) besteht.

title

## ACADEMIC CEREMONY AT THE FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

*Most certainly, the engineering disciplines electrical engineering and computer science are the world's best fields of study! That is why it is appropriate to duly value and celebrate the achieved degrees. Hence, on the initiative of the dean and under the organizational management of Mrs. Barbara Weidemann (former head of the dean's office), an academic ceremony for the ceremonial presentation of the degree certificates was established at the faculty over the past years. In the meantime, the academic ceremony – which is taking place at the beginning of each semester – has become a tradition. The ceremony is organized with much devotion by the staff of the dean's office under its current leader Mrs. Nicole Ternes and generously supported by the VDE (Association for Electrical, Electronic and Information Technologies), which is, amongst others, sponsoring awards for the students with the best grades.*

*Even though robes did not have the best reputation in the German public in the late 1960s, it has become clear in the meantime that through the combination of old traditions with up-to-date topics the image of the University of Kassel as *universitas magistrorum et scholarium*, i.e. the community of teachers and scholars, can be internalized best. The universities preserve knowledge and constructs of ideas and develop them further. Therefore, our faculty does not only want to offer the alumni a bond for the future by means of an excellent education, but also through the demonstrative appreciation of their accomplishments. This is regularly gladly accepted.*

*Until recently, a professional band accompanied the ceremony. However, a survey revealed that a surprising number of professors are also familiar with playing musical instruments. The evaluation of this survey resulted in a band called "The Convocations", which's bandleader and arranger is dean Dirk Dahlhaus. Further members are Prof. Ludwig Brabetz (lead guitar), Prof. Hartmut Hillmer (violin), Dr. Michael Kunz (vocals), Prof. Mike Meinhardt (bass guitar), Prof. Bernd Witzigmann (bass guitar) and Prof. Peter Zacharias (violincello).*

*At every ceremony, the band performs a brand-new program. The band's repertoire includes pieces such as "The Convocations Show" (The Muppet's Show Theme), "Angel Eyes" (M. Dennis / E. Brant), "Arthurs Theme" (Chr. Cross et. al.), "Fly me to the Moon" (B. Howard), "Night and Day" (C. Porter) or "What's in a Kiss" (G. O'Sullivan). The time given to the band's members by the bandleader to prepare new pieces of music is a period of time rather familiar to students studying for exams: a maximum of two weeks! However, the response of the students and their families is a great motivation for everyone and always leads to memorable band performances.*



"The Convocations" im Oktober 2013: Prof. Hillmer, Prof. Zacharias, Dr. Kunz, Prof. Dahlhaus, Prof. Brabetz, Prof. Meinhardt

*"The Convocations" in October 2013: Prof. Hillmer, Prof. Zacharias, Dr. Kunz, Prof. Dahlhaus, Prof. Brabetz, Prof. Meinhardt*

Es wird jedesmal ein neues Programm aufgeführt. Die dargestellten Bilder sind mit dem Programm „The Convocations Show“ (The Muppet's Show Theme), „Angel Eyes“ (M. Dennis/E. Brant), „Arthurs Theme“ (Chr. Cross et. al.), „Fly me to the Moon“ (B. Howard), „Night and Day“ (C. Porter) und „What's in a Kiss“ (G. O'Sullivan) verbunden. Der Bandleader gibt den Bandmitgliedern sportliche Vorlaufzeiten, die auch Studenten bei ihren Prüfungen bekannt sein dürften: maximal 2 Wochen! Aber die gemeinsame Resonanz mit den Studenten und ihren Familien ist eine großartige Erinnerung für alle Seiten und führt immer wieder zum Gelingen.

Ein besonderer Augenblick für das Fachgebiet war die Übergabe der Ernennungsurkunde an Dr.-Ing. Mike Meinhardt, der uns bereits seit vielen Jahren in der Lehre verbunden ist, zum Honorarprofessor der Universität Kassel. Er hielt auch die Festansprache an die Absolventen des Semesters.



Prof. Dr. Mike Meinhardt bei seiner Rede an die Absolventen des Jahrgangs  
*Prof. Dr. Mike Meinhardt during his speech to the graduates of the semester*

*For the department, a special moment during last year's ceremony was the presentation of the certificate of appointment as honorary professor to Dr.-Ing. Mike Meinhardt, who has been involved in the department's teaching activities for many years. Mike Meinhardt also held the speech to the graduates of the semester.*



Prof. Zacharias übergibt die Urkunden an die Absolventen des Semesters

*Prof. Zacharias handing over the certificates to the alumni*



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

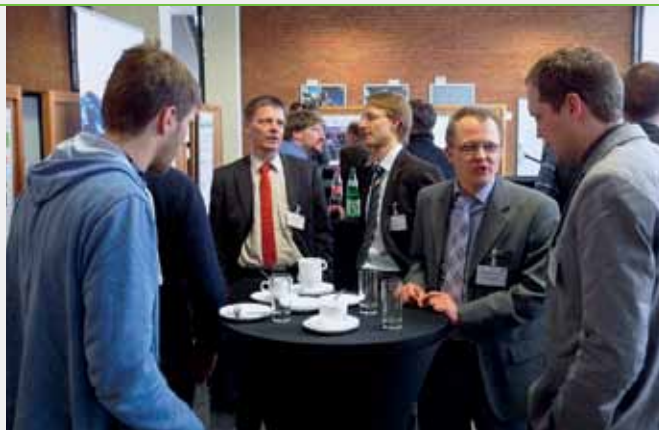
**ECPE WORKSHOP „LEISTUNGSELEKTRONIK  
IN NETZEN“**

title

**ECPE WORKSHOP “POWER ELECTRONICS IN  
THE ELECTRICAL NETWORK”**

Leistungselektronische Systeme spielen bei der Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung eine Schlüsselrolle. Dies gilt sowohl für die Netzanbindung von Erzeugungsanlagen verschiedener Leistungsklassen als auch für die Realisierung flexibler Netzbetriebsmittel zur Gewährleistung von Netzstabilität und hoher Versorgungsqualität.

Ein im März 2013 vom European Center for Power Electronics (ECPE) in Zusammenarbeit mit dem KDEE an der Universität Kassel ausgerichteter Workshop bot die Gelegenheit, aktuelle Entwicklungen sowie sich abzeichnende zukünftige Trends hinsichtlich des Einsatzes von Leistungselektronik in elektrischen Energieversorgungsnetzen zu diskutieren.



Fachgespräche in der Kaffeepause.  
*Discussions during a coffee break.*

Die zweitägige Veranstaltung, an der über 70 Experten europäischer Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen teilnahmen, deckte ein breites Themenspektrum ab. So wurden aus leistungselektronischer Sicht zahlreiche technische Herausforderungen betrachtet, welche sich durch die immer höhere Durchdringung bestehender Energieversorgungssysteme mit dezentralen bzw. lastfernen und volatilen Erzeugungsanlagen ergeben.

Hierzu gehörten u.a. verschiedene Aspekte bzgl. Hardware und Regelung netzgekoppelter Wechselrichter mit netzstützenden Eigenschaften, der Einsatz von Batteriespeichern und die Implementierung von DC-Netzen. Weitere Themen waren die Perspektiven von Leistungshalbleitern mit großer Bandbreite hinsichtlich der Verwendung in Wechselrichtern von Erzeugungsanlagen sowie der Einsatz von leistungselektronischen Betriebsmitteln zur Netzregelung auf der Verteilebene.



Eröffnung des Workshops durch die Thomas Harder (ECPE) und Prof. Zacharias.  
*Opening of the workshop by Thomas Harder (ECPE) and Prof. Zacharias.*

*Power electronic systems play a key role in the utilization of renewable energy sources for generating electricity. This is true for the grid connection of generation units of various power ranges as well as for the implementation of flexible network equipment for ensuring grid stability and high power quality.*

*In March 2013, the University of Kassel hosted a workshop organized by the European Center for Power Electronics (ECPE) in collaboration with the KDEE which offered the opportunity to discuss current developments and future trends regarding the use of power electronics in electrical power systems.*

*The two-day event, which was attended by over 70 experts from universities, research institutes, and companies from all over Europe, covered a broad range of topics. Seen from a power electronic point of view, various challenges were considered which arise in the context of the steadily increasing penetration of existing power systems with either distributed generation units or generation units located far away from consumers and with volatile power output.*

*Among others, aspects regarding hardware and control of grid-connected inverters with grid-supporting features, the use of battery energy storage systems, and the implementation of dc-grids were looked at. Further topics included the perspectives of wide-band-gap power devices used in inverters for renewable power sources and the use of power electronic network controllers in distribution grids.*

Ansprechpartner

M.ENG. CHRISTIAN FELGEMACHER (EVS)

Titel

# IEEE – INTERNATIONAL FUTURE ENERGY CHALLENGE 2013: KASSELER GEWINNEN „BEST INNOVATIVE DESIGN AWARD“

title

# IEEE – INTERNATIONAL FUTURE ENERGY CHALLENGE – STUDENT TEAM KASSEL WINS “BEST INNOVATIVE DESIGN AWARD”



IFEC '13 Team bei der Preisverleihung in Columbus, OH

IFEC '13 Team receiving the "Best Innovative Design Award" in Columbus, OH

Der Wettbewerb „International Future Energy Challenge“ wird alle zwei Jahre vom internationalen Berufsverband IEEE ausgerichtet. Teilnehmen können studentische Teams von Universitäten und Hochschulen aus aller Welt. Als Themen wurden für den Wettbewerb in 2013 die Entwicklung eines hocheffizienten Solar Kleinstwechselrichters sowie die Entwicklung eines langlebigen Vorschaltgerätes für Beleuchtungen auf Basis von Leuchtdioden (LEDs) ausgeschrieben. Unser Team entschied sich für den Photovoltaik-Kleinstwechselrichter und begann im Herbst 2012 mit der Entwicklungsarbeit.

Zunächst wurde ein Gesamtkonzept für den Wechselrichter erarbeitet und mögliche Topologien für die zwei Wandlerstufen verglichen. Die im „Progress Report“ im November 2012 vorgestellten Ansätze konnten die Juroren überzeugen und unser Team behauptete sich in der ersten Runde des Wettbewerbs. Es folgten die Entwicklung und der Aufbau der einzelnen Komponenten sowie eine Reihe von Designoptimierungen, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen. Mit dem „Qualification Report“ qualifizierten wir uns für das Finale des Wettbewerbs im Juli 2013. Die folgenden Monate wurden sehr intensiv – teilweise bis spät in die Nacht – genutzt, um den Prototypen pünktlich zum Finale fertigzustellen.

Schlussendlich machten wir uns, bepackt mit unserem Prototyp sowie reichlich Ersatzteilen und Werkzeug, über Frankfurt und Philadelphia auf den Weg nach Columbus, Ohio. Unterwegs führten wir die letzten Optimierungen an der Software durch.

Bei der „Final Competition“ am 18. und 19. Juli 2013 wurden die Geräte aller acht Finalisten (aus Deutschland, Kanada, Taiwan, China und der USA) getestet. Unser Prototyp wurde nach durchlaufen der Tests mit dem „Best Innovative Design Award“ ausgezeichnet.

Das „Student Team Kassel“ (Philipp Jäger, Ali Kobeissi, Jonas Pfeiffer und Dennis Wiegand) dankt den Mitarbeitern am KDEE und EVS sowie allen Sponsoren herzlich für die Unterstützung, welche die Teilnahme am Wettbewerb überhaupt erst ermöglicht hat.

*The competition “International Future Energy Challenge” is run by the international professional institution IEEE every two years. Student teams from universities and colleges around the world can take part in it. Possible topics the 2013 competition were the development of a highly efficient photovoltaic microinverter as well as the development of a low-power off-line light-emitting diode (LED) driver with long lifetime. Our team chose the photovoltaic microinverter and started the development work in autumn 2012.*

*At first an overall concept for the inverter was decided upon and possible topologies for the two converter stages were compared. The approaches presented in the “progress report” in November 2012 convinced the judges and our team was able to progress to the next round of the competition. The development and construction of the components was done next and a number of design optimizations were taken out to achieve a high efficiency. With the “Qualification Report” we qualified for the final competition in July 2013. The following months were used very intensively – sometimes until late at night – to complete the prototype in time for the final.*

*Finally, we started our trip to Columbus, Ohio via Frankfurt and Philadelphia, together with our prototype and plenty of spare parts and tools. On the way final software optimisations were implemented.*

*At the final competition on July 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> 2013 the inverters of all eight finalists (from Germany, Canada, Taiwan, China and the USA) were tested. Our prototype was awarded the “Best Innovative Design Award” after the tests were carried out.*

*The “Student Team Kassel” (Philipp Jäger, Ali Kobeissi, Jonas Pfeiffer and Dennis Wiegand) thanks the staff of KDEE and EVS as well as all sponsors for the support that enabled the participation in the competition in the first place.*



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

PCIM PREIS AN SAMUEL ARAÚJO: YOUNG ENGINEER AWARD 2013

Samuel Araújo



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. Bestehen müssen die eingereichten Beiträge vor den Kriterien Neuigkeitsgehalt, gemessen an der Erstveröffentlichung, und der Aktualität des Themas. Zu den glücklichen Gewinnern des begehrten Preises gehörten 2013 Samuel Araújo / Universität Kassel mit dem Paper *High Switching Speeds and Loss Reduction: Prospects with Si, SiC and GaN and Limitations at Device, Packing and Application Level* sowie Radoslava Mitova von Schneider Electric und Daniel Wigger von der Universität Rostock.



Überreichung der Urkunde durch Prof. Dr. Leo Lorenz, Vorsitzender der PCIM

Presentation of the certificate by Prof. Dr. Leo Lorenz, Conference Chair of the PCIM



The award ceremony of the Young Engineer Award is one of the annual events highlight in the electronics conference "Power Conversion and Intelligent Motion" (PCIM) in the spring in Nuremberg. The selected papers must meet several criteria like novelty, innovation content and actuality of the topic. In the year 2013 were awarded Samuel Araújo / University of Kassel with the Paper "High Switching Speeds and Loss Reduction: Prospects with Si, SiC and GaN and Limitations at Device, Packing and Application Level" alongside Radoslava Mitova from Schneider Electric and Daniel Wigger from the University of Rostock..

### Title of the Paper

*High Switching Speeds and Loss Reduction: Prospects with Si, SiC and GaN and Limitations at Device, Packing and Application Level*

### Summary of the Paper

The prospect of increasing the switching frequency without sacrificing efficiency is seen in many fields of application as a promising development. This will be mainly achieved through new device technologies, not only relying on WBG materials but also on silicon, capable of operating at much faster switching speeds and thus with lower losses. On the other hand, new developments in the field of packing and montage are necessary in order to fully exploit new device capabilities.



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**JST-NSF-DFG WORKSHOP ÜBER DEZENTRALISIERTES ENERGIEMANAGEMENTSYSTEM, HONOLULU, 11. – 13. JANUAR 2014**

title

**JST-NSF-DFG WORKSHOP ON DISTRIBUTED ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS, HONOLULU, 11. – 13. JANUARY 2014**

Eine stabile und sichere Energieversorgung mittels klimafreundlichen Technologien ist von wesentlicher Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung. In diesem Zusammenhang werden weltweit zunehmend erneuerbare Energiequellen eingeführt, mit der Erwartung, dass ein kooperatives dezentrales Energiemanagementsystem, das eine optimale Steuerung des gesamten Energieangebots und der Nachfrage ermöglicht, etablieren werden kann.

Für den gemeinsamen Workshop wurden mehr als 40 Forscher aus verschiedenen Bereichen wie Systemwissenschaften, Kontrolle, Informationstechnik, Kommunikation, Energie und Sozialwissenschaften eingeladen, mit dem Ziel mögliche Strategien für ein dezentralisiertes Energiemanagementsystem zu diskutieren.

Sie präsentierten und diskutierten über die zukünftigen Aspekte der Energiemanagementsysteme und ihren Forschungsbedarf, um ihre Zukunftsvision zu verwirklichen. Die deutsche Delegation unter Leitung von Prof. Dr. Frank Allgöwer (Universität Stuttgart), stellvertretender Direktor des DFG, bestand aus Prof. Dr. Claudia Binder (LMU München), Prof. Dr. Istvan Erlich (Uni Duisburg-Essen), Dr. Damian Dudek (DFG Bonn), Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff (Universität Oldenburg), Prof. Dr. Hartmut Schmeck (KIT Karlsruhe) und Prof. Dr. Zacharias (Universität Kassel). Der sehr interessante Workshop wurde von Prof. Anthony Kuh (University of Hawai'i) organisiert. Ein Höhepunkt war der Besuch des Hybridsystems (Solar, Wind, Biomasse + Backup) auf der Insel Maui, gefolgt von einem Elektro-Fahrzeug-System.



Podiumsdiskussion während des Workshops

Panel discussion during workshop

*Securing a stable energy supply while simultaneously heading towards a low carbon society is a key requirement for sustainable development. Within such framework, renewable energy sources are being increasingly adopted throughout the world, with the expectation to establish a cooperative distributed energy management system which makes optimal control of the whole energy supply and demand possible.*

*The joint workshop invited more than 40 researchers of different fields such as system science, control, information technology, communication, energy and social sciences with the target of discussing possible strategies for a cooperative distributed energy management system.*

*They made presentations and discussed about the future aspects of the energy management systems and their research targets to realize the referred future vision. The German delegation, headed by Prof. Dr. Frank Allgöwer (Universität Stuttgart), vice director of the DFG, consisted of Prof. Dr. Claudia Binder (LMU Munich), Prof. Dr. Istvan Erlich (Uni Duisburg-Essen), Dr. Damian Dudek (DFG Bonn), Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff (Universität Oldenburg), Prof. Dr. Hartmut Schmeck (KIT Karlsruhe), Prof. Dr. Zacharias (Universität Kassel). The very interesting workshop has been organized by Prof. Anthony Kuh (University of Hawai'i). One highlight was the visit of the hybrid system (solar, wind, biomass + backup) on Maui Island accompanied by the demonstration of an electric vehicle system.*



Vorführung eines E-Fahrzeugs

Demonstration of an electric vehicle



Besichtigung des Hybridsystems auf der Insel Maui

Visit of the hybrid system from the Maui Island



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS (EVS)

Titel

**TAGUNGSBEIRAT SYMPOSIUM PHOTO-VOLTAISCHE SOLARENERGIE**

title

**CONFERENCE ADVISORY BOARD OF THE SYMPOSIUM PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY**

Seit 2006 ist Prof. Zacharias im Tagungsbeirat des Symposiums Photovoltaische Solarenergie im Kloster Banz bei Bad Staffelstein. Es ist die größte deutschsprachige Veranstaltung zum Thema Entwicklung und Nutzung der Photovoltaik für die Energieversorgung. Im Jahr 2015 findet diese Tagung zum 30sten Mal statt. Das Spektrum der Themen reicht von der Konstruktion neuartiger Zellen über die Modulfertigung und Systemtechnik für unterschiedliche Anwendungen bis zu den rechtlichen Rahmenbedingungen des Einsatzes photovoltaischer Systeme. Der wissenschaftliche Tagungsbeirat plant das Symposium inhaltlich und bewertet die eingereichten Beiträge. Seit einigen Jahren leitet Prof. Zacharias das Gremium für die Prämierung der besten Poster, deren Anzahl bei jährlich 85–110 liegt. Die Entscheidungen fallen häufig erst gegen Mitternacht vor der Auszeichnung.



29. Symposium Photovoltaische Solarenergie im Kloster Banz bei Bad Staffelstein.

*29. Symposium Photovoltaic Solar Energy in the Monastery Banz near Bad Staffelstein.*

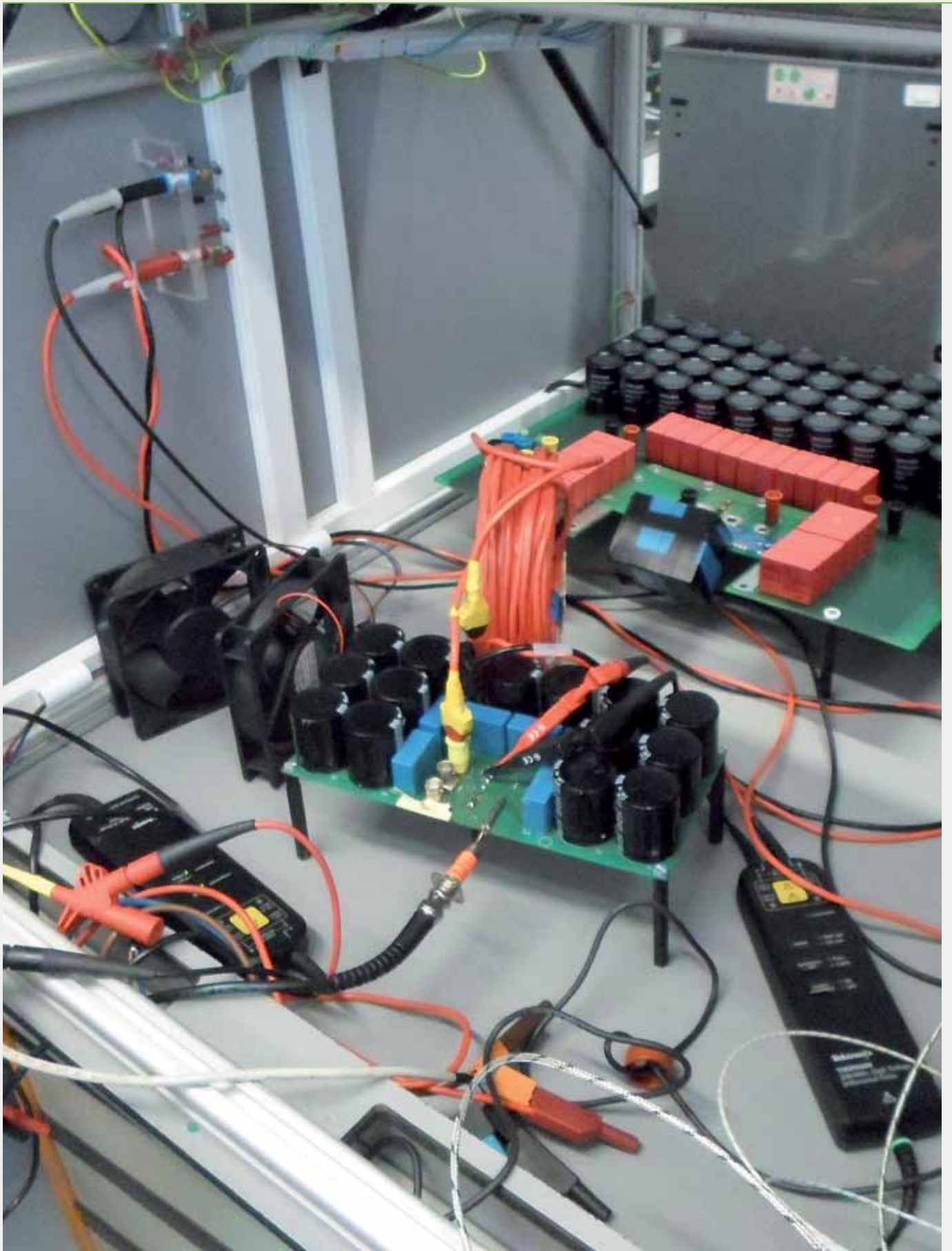


Das Gremium für die Posterbewertung 12. bis 14. März 2014 : Detlef Koenemann, Marc Köntges, Peter Zacharias, Werner Roth, Michael Powalla (von links beginnend).

*The poster awarding committee from March 12<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> 2014: Detlef Koenemann, Marc Köntges, Peter Zacharias, Werner Roth, Michael Powalla (beginning from the left)*

*Since 2006 is Prof. Zacharias a member of the conference advisory board of the Symposium Photovoltaic Solar Energy in the Monastery Banz near Bad Staffelstein. It is the biggest German-speaking event on development and use of photovoltaic for energy supply. In 2015 this conference takes place for the 30<sup>th</sup> time. The spectrum of subjects ranges from the design of new cells to the module manufacturing and systems technology for different applications to the juridical basic conditions of the application of photovoltaic systems. The scientific conference advisory board plans the symposium concerning content and evaluation of the submitted contributions. Since some years the poster awarding committee is being led by Prof. Zacharias. The number of accepted posters is approximately 85–110 per year. The decisions fall often only about midnight before the honoring.*







Marita Wendt erzählt Schülerinnen allgemein über das Elektrotechnikstudium, sowie speziell über das Fachgebiet Energieversorgungssysteme und beantwortet ihre Fragen  
*Marita Wendt tells students about studying electrical engineering in general and specifically about the Department of Energy Supply Systems and answers their questions.*

Das Fachgebiet engagiert sich im Projekt zur Förderung des weiblichen Nachwuchses in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT), das im Rahmen der Qualifizierungsinitiative der Bundesregierung „Aufstieg durch Bildung“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und zusammen mit dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) durchgeführt wird.

Um Mädchen für MINT-Studiengänge und -Berufe zu begeistern, wurde im September 2012 im Rahmen dieses Projekts das sogenannte MINT-Café im Oberstufenzentrum Albert-Schweitzer-Schule in Alsfeld durchgeführt. Vier Frauen aus unterschiedlichen technischen Bereichen (Bauwesen, Elektrotechnik, Chemie, Eisengießen) berichteten von ihren Erfahrungen und stellten sich bei einer Tasse Kaffee den Fragen der Schüler und Schülerinnen. Die Frauen aus klassischen Männerberufen gaben Auskunft zu ihrem Werdegang und ihrem Berufsleben – ein Themenblock, der nicht nur für Schülerinnen, sondern auch für ihre männlichen Kollegen sehr interessant war.

Die Teilnehmenden konnten sich in gemütlicher Atmosphäre über Studieninhalte, Karrierechancen, Aufgaben, Abwechslung und Raum für Ideen sowie über Lust und Frust des Arbeitsalltages umfassend informieren. Fragen wie „Wie haben Sie eigentlich Ihr Interesse an Technik bemerkt?“, „Was sind erneuerbare Energien?“ oder „Wie sieht Ihr Arbeitsalltag aus?“ wurden oft gestellt und die Antworten darauf mit Interesse aufgenommen.

*The department is involved in a project to promote talented young females in maths, computer science, natural sciences and engineering or STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). The project is funded by means of the qualification initiative “Advancement by Education” enabled by the federal government. It is supported by the federal ministry of education and research together with the German engineering federation (VDI).*

*To inspire girls for STEM courses and careers, the so-called MINT-Café was held within the framework of this project in the college centre of the Albert Schweitzer School in Alsfeld in September 2012. Four women with different technical profession (construction, electrical, chemical, iron casting) reported on their experiences and answered the students’ questions over a cup of coffee. The women working in classic men’s jobs provided information about their careers and their professional lives – a subject which was very interesting not only for female students but also for their male counterparts.*

*The participants were able to obtain comprehensive information in a cosy atmosphere on course content, career opportunities, tasks, variety and room for ideas as well as joys and frustration of daily work. Questions such as “How did you actually notice your interest in technology?”, “What are renewable energy sources?” or “What is your daily routine like?” were often asked and the answers noted with interest.*



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

## EXPERIMENTALUNTERRICHT IN DER KLASSENSTUFE 6 DER JOHANN-AMOS-COMENIUSSCHULE

In Zusammenarbeit und mit Anleitung von Mitarbeitern der Universität Kassel führten die Schüler Experimente zu Elektrizität und erneuerbaren Energien durch. Von Seiten der Universität war Professor Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias federführend. Drei Klassen der Stufe 6 wurden in diesem Projekt der Berufsorientierung und Werbung für die Universität am 12. und 14. Februar 2014 in jeweils 10 Gruppen durch 10 Experimente geführt. Diese reichten thematisch von der Energieerzeugung bis zur Elektromobilität.

[www.comeniusschule-ks.de/schueler-innen-aktiv/schulprojekte/kompaktwoche-2---jg6-am-14022014/index.html](http://www.comeniusschule-ks.de/schueler-innen-aktiv/schulprojekte/kompaktwoche-2---jg6-am-14022014/index.html)



Jonas Schmidt, Nils Peilstöcker, Bernhard Siano von der Uni Kassel, Roman Streit, Can Balyan (Klasse 6c).



Maximilian Zierenberg, Joshua Seiffert, Simon Menze (Klasse 6a) und Juliane Hinz von der Uni Kassel (2. v. re.)



Elena Popov, Letizia Langecker, Isabell Heintze (Klasse 6a) und Christian Felgemacher von der Uni Kassel.



Prof. Dr. Zacharias, Lina Omayrat, Angelina Hafner, Celina Szabò (Klasse 6c).

HNA  
04.03.2014





**Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias**

Leiter des Fachgebiets  
Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS)  
*Head of the department of electric power  
supply systems (EVS)*

**Prof. Dr.-Ing. Martin Braun**

Leiter des Fachgebiets Energiemanagement und  
Betrieb elektrischer Netze (e<sup>2</sup>n)  
*Head of the department of energy management  
and power system operation (e<sup>2</sup>n)*

**VORWORT FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN**

Die gegenwärtige Entwicklung in der Energietechnik ist gekennzeichnet durch eine weiter zunehmende Vernetzung. Das heißt, Systemkomponenten unterschiedlichster Zweckbestimmung und Leistungsgröße werden zusammengeführt und erweitern die Basis zur Nutzung von erschließbaren 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 große 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 Leitetchnologie entwickelt. Schlüssel-Technologien sind insbesondere die Generator- und Umrichtertechnik sowie die **netzverträgliche Gestaltung der Komponenten und Gesamtsysteme**.

Leistungselektronische Stellglieder sind die flexibelsten und die schnellsten für das Energiemanagement in derzeitigen und zukünftigen elektrischen Energienetzen. Ihre Konstruktion und Regelung erfordert spezielles Know-how, das im 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.

**FOREWORD RESEARCH ACTIVITIES**

*The current trend in power engineering is characterized by an increasing level of integration. This means that system components for different purposes and power levels are being linked to each other and thus expanding the basis for the use of sustainable energy resources. However, such sources have different characteristics in terms of local distribution, availability and short-term volatility. As the most important topics in this area, one can cite the improvement of standards concerning the interaction of system components, the integration of information and communication technologies and finally components to control the power flow and thus stabilize the grid.*

*Among the diverse renewable energy sources, wind energy has assumed the most important part for the supply of electricity. The expected increase in the upcoming decades of the amount of renewable energies predominantly fed into the grid via converters leads to new challenges regarding the electrical network and the consumers.*

*Power conditioning by power electronic converters has been developed from a common application technology towards a key technology in the last 20 years. This concerns especially generator and converter technology as well as the **grid-compatibility of components and systems**.*

*Power electronic converters are the most dynamic and flexible systems for energy management in the future power grids. Their design and control require special know-how which is being concentrated and further developed at KDEE. The impulse comes from efficient energy usage as well as special requirements of renewable energy generators. New power conversion concepts also allow making a generic use of them. The energy provided by the generator output usually does not comply with the standardized requirements of energy supply in static and mobile applications. Power electronic converters allow conditioning of energy with high flexibility and efficiency. This enables the integration of different energy sources and storages in a common system.*

Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO (EVS)

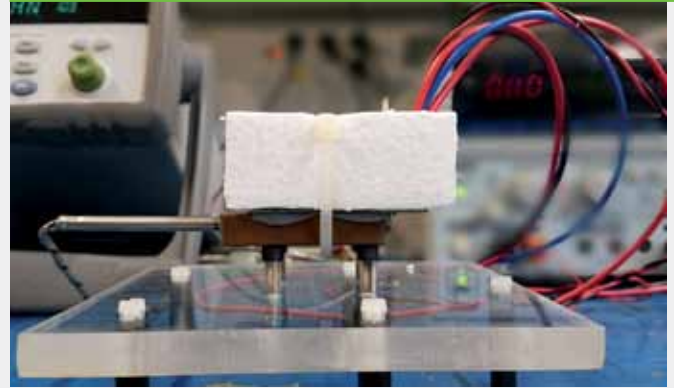
Titel

**LEISTUNGSELEKTRONISCHE WANDLER FÜR PHOTOVOLTAISCHE SYSTEME**

title

**POWER ELECTRONICS CONVERTERS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

Im KDEE findet eine Vielzahl von Forschungsaktivitäten im Bereich leistungselektronischer Wandler für photovoltaische Systeme statt. Enge Kooperation besteht dabei mit SMA Solar Technology AG, dem Weltmarktführer bei Solar-Wechselrichtern. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Gestaltung und experimentellen Untersuchung innovativer leistungselektronischer Topologien, einschließlich netzgekoppelter Wechselrichter bei unterschiedlichen Leistungsniveaus bis hin zu Sonderlösungen für den Inselbetrieb. Darüber hinaus werden die Eigenschaften und Applikation modernen Leistungshalbleiter zusammen mit der Auslegung und Konstruktion neuartiger magnetischer Bauelemente zur Entwicklung effizienter Lösungen untersucht. Die Ergebnisse solcher Aktivitäten werden in Form von zahlreichen wissenschaftliche Veröffentlichungen, Patentanmeldungen und Doktorarbeiten publiziert.



Charakterisierung des thermischen Widerstands von Leiterplatten.

*Characterization of the thermal resistance from printed circuit boards.*



Kompakte Schaltzelle zur Untersuchung von neuen WBG Bauelementen.

*Compact switching cell for investigation of new WBG devices.*

*Several activities take place in the KDEE in close cooperation with SMA, the world's leading manufacturer of photovoltaic inverters. Focus is mainly given to the development and experimental benchmarking of innovative power converter topologies, ranging from grid-connected inverters at diverse power levels to off-grid special solutions. In addition to this, the properties and application of modern semiconductor devices along with the design of novel integrated magnetic structures is considered in the path towards the development of highly efficient solutions. Such activities rendered along the years several joint patent applications and scientific publications.*

**Gefördert durch: SMA Solar Technology AG**

Ansprechpartner

M.ENG. CHRISTIAN FELGEMACHER (EVS)

Titel

**GIGA-PV: SYSTEMOPTIMIERUNG PV-GROSS-KRAFTWERKE FÜR DEN GLOBALEN SONNEN-GÜRTEL**

Die im Sonnengürtel der Erde vorherrschenden Bedingungen sind besonders geeignet für eine großtechnische Solarstromgewinnung mit Leistungen bis in den Gigawattbereich. Die in den Regionen des Sonnengürtels herrschenden extremen Klimabedingungen stellen jedoch besondere Anforderungen an die eingesetzten Komponenten.

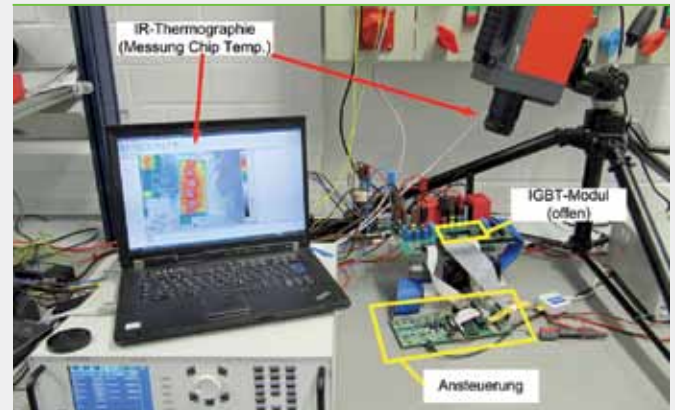
Ziel des mehrjährigen Forschungsprojektes Giga-PV ist zum einen eine deutliche Kostenreduzierung für PV-Großkraftwerke im Leistungsbereich von mehreren 100 Megawatt. Außerdem sind die eingesetzten Komponenten gezielt auf die Anforderungen in Regionen des globalen Sonnengürtels anzupassen, um lange Lebensdauern und hohe Zuverlässigkeit sicherzustellen und so einen wirtschaftlichen Betrieb zukünftiger Photovoltaik Kraftwerke zu ermöglichen. Projektpartner sind SMA Solar Technology AG, TÜV Rheinland LGA Products GmbH, Hanwah Q Cells GmbH sowie die Universität Kassel.

Auf Seiten der Universität Kassel sind das KDEE sowie das Center for Environmental Systems Research (CESR) am Forschungsprojekt beteiligt. Das CESR stellte in 2013 aufbereitete klimatische Daten bereit, die von den Projektpartnern zur Ermittlung von Anforderungsprofilen für die Komponenten sowie für die Untersuchung der Systemkonzepte genutzt werden. Am KDEE werden Arbeiten zur Untersuchung der Zuverlässigkeit von Wechselrichtern sowie zu Wandlertopologien und Bauelementen für erhöhte Wechselrichterleistungen durchgeführt.

Eine große Anzahl an einsetzbaren Schaltungsarten für die Umwandlung von Gleichstrom zu Wechselstrom verlangt dabei nach einer zeiteffizienten, aber auch belastbaren Bewertungsmethode. Hierfür wurden miteinander vergleichbare und normierfähige Belastungsfaktoren der wichtigsten und kritischsten Bauteile entwickelt. Aus einer größeren Anzahl in Frage kommender Topologien konnten somit über ein Rankingverfahren günstige Varianten für den Einsatz in Großkraftwerken ermittelt werden. Als mögliche Lösung stellte sich eine Topologie mit Serienschaltung von IGBTs heraus, bei der es die besondere Herausforderung der aktiven Spannungssymmetrierung zu lösen galt. Im Rahmen der Untersuchungen konnten zwei geeignete Methoden gewählt werden, welche in Kombination einen sicheren und verlustarmen Einsatz der Serienschaltung auch bei Wechselrichtern der Megawatt-Klasse erlauben. Experimentelle Untersuchungen belegten dabei die Wirkungsweise der ermittelten Lösungsvorschläge.

Zur Untersuchung der Wechselrichterlebensdauer wurden thermische Simulationen zur Ermittlung der Halbleiterbelastungen im Leistungsteil eines typischen Wechselrichters der 800 kW Klasse erstellt. Mit Hilfe der Simulation lassen sich insbesondere die auftretenden Temperaturzyklen ermitteln. Diese können für die Alterung der Halbleiter sehr kritisch sein, da sehr große und häufig auftretende Temperaturzyklen zur Schädigung der Verbindungen im Halbleitermodul führen. Unter Nutzung von Belastungsprofilen für

title

**GIGA-PV: SYSTEM OPTIMISATION OF LARGE-SCALE PV POWER PLANTS FOR THE EARTH'S SUNBELT**

Aufbau eines skalierten Wechselrichters zur Durchführung thermischer Messungen an einem Leistungsmodul und Untersuchung geeigneter Methoden zur Online Temperaturmessung.

*Set-up of a scaled inverter used to carry out thermal measurements on a power module and to investigate suitable methods for online temperature sensing.*

*The conditions in the earth's Sunbelt are particularly well suited for large-scale photovoltaic power plants with output powers up into the gigawatt range. However, the climatic conditions in the Sunbelt regions result in special requirements that have to be met by the components.*

*The aim of the multi-year research project Giga-PV is to significantly reduce the cost of very large photovoltaic power plants in the power range of multiples of 100 MW. Additionally, the components used in such power plants need to be optimized for the stresses that can be expected in the regions of the earth's Sunbelt to ensure high reliability and long lifetimes in order to enable the economic operation of future photovoltaic power plants. Project partners are SMA Solar Technology AG, TÜV Rheinland LGA Products GmbH, Hanwah Q Cells GmbH and the University of Kassel.*

*At the University of Kassel the KDEE as well as the Center for Environmental Systems Research (CESR) take part in the research project. In 2013 the CESR provided the results of their analysis of climatic data, which is used by the project partners to determine specifications for the components and to aid the investigation of system concepts. The KDEE continued investigations into the reliability of inverters as well as into inverter topologies and suitable components for increased inverter powers.*

*The large number of possible circuit configurations for the conversion of direct current to alternating current results in the need for a time-effective yet reliable method of assessment of the possible configurations. For this purpose stress-factors that can be normalised and compared have been developed for the most*





Schalllabor mit Leistungsschaltern.

Acoustic Laboratory with power devices.

eine Reihe von Standorten im Sonnengürtel konnte so die zu erwartende Belastung durch Temperaturzyklen ermittelt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Vorschläge zur Reduzierung der thermischen Wechselbelastung gemacht.

Zur experimentellen Validierung der thermischen Simulationen sowie zur Untersuchung des Einflusses verschiedener möglicher Modulationsverfahren auf die thermische Halbleiterbelastung wurde ein skaliertes Laboraufbau eines dreiphasigen Wechselrichters erstellt. Durch thermographische Messungen mit hoher zeitlicher Auflösung können thermische Zyklen innerhalb des 50 Hz Zyklus sichtbar gemacht werden. Weiterhin werden indirekte Verfahren zur Messung der Chip-Temperaturen während des Wechselrichterbetriebs an diesem Aufbau getestet.

Eine Untersuchung zur Langzeitperformance von Wärmeleitpasten sowie Untersuchungen zu möglichen Verfahren zur Fehlerfrüherkennung u. a. an Lüftern und AC-Leistungsschaltern wurden durchgeführt. Hierbei wurde beispielsweise eine akustische Überwachung eines Schaltversuchs mit mehreren AC-Leistungsschaltern realisiert. Die Aufnahmen der Schaltgeräusche wurden untersucht, um mögliche Anhaltspunkte zur Erkennung eines bevorstehenden Ausfalls zu finden.

*critical and important parts. From a large number of possible circuit topologies the most cost effective options for the use in a large photovoltaic power plant were identified using these factors. A topology that uses two IGBTs in a series connection was identified as one suitable option. The series connection of the IGBTs was a challenge that had to be addressed. In the investigation two methods were identified that can be combined to enable a safe and efficient operation of a series connection of IGBTs in inverters in the megawatt range. Experiments confirmed the effectiveness of the identified solutions.*

*Thermal simulations which enable the determination of semiconductor stresses in the power electronic stack of a typical 800 kW inverter were developed in order to analyse the inverter lifetime. Through the simulations the occurring thermal cycles can be identified. These can be critical for the ageing of the power semiconductor modules, as frequently occurring large temperature cycles lead to a deterioration of connections inside the power semiconductor modules. Using mission profiles for a number of locations in the Sunbelt the expected stresses as a consequence of temperature cycles were determined. Based on these results suggestions for measures to reduce the cycling stresses were made.*

*In order to validate the thermal simulations through experiments and to investigate the influence of different modulation strategies on the thermal semiconductor stresses a scaled laboratory setup of a three-phase inverter was built. Using high-speed thermography temperature cycles, including those occurring within the 50 Hz cycle, can be measured. The setup is also used to evaluate methods for online measurement of chip temperatures during inverter operation.*

*An investigation into the long-term performance of thermal grease as well as an investigation of possible methods for predictive detection of failures of fans and AC switches was done. For this purpose an acoustic monitoring of switching-tests with multiple AC switches was carried out. The recorded switching sounds were analysed to identify possible failure precursors that could be used to detect an imminent failure.*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Projektpartner: SMA, Q-Cells, TÜV Rheinland**

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 13N11737)**

Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO, M.SC. JULIANE HINZE (EVS)

Titel

**FLIP: GRÖSSEN OPTIMIERTE PHOTOVOLTAIK-WECHSELRICHTER IN DER UNTEREN KW-KLASSE**

title

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

Kompakte PV-Wechselrichter in der unteren kW-Leistungsklasse (Quelle: SMA)  
*Size optimized photovoltaic inverters in the lower kW-class*

In dem vom BMBF geförderten Projekt FLIP<sup>1</sup> wird das sehr schnelle schalten von Leistungshalbleiterchips untersucht, wodurch ein hochfrequenten Takten von Kleinwechselrichtern speziell für PV-Anwendungen ermöglicht werden soll. Um das zu erreichen, sind nicht nur neue und sehr schnelle Leistungshalbleiter-Technologien wie z. B. SiC Schalter notwendig, sondern auch eine neue und angepasste Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT), welche die Voraussetzungen für ein Schalten im Nanosekundenbereich schafft. Die AVT muss in der Lage sein, durch zum Beispiel ein sehr niederinduktives Design, die entstehenden Überspannungen am Halbleiterchip in Grenzen zu halten, sowie die entstehende Verlustwärme gut abzuführen. Als ein neuer Ansatz soll für diese Leistungsklasse die *embedding* Technologie getestet werden, da sie einen sehr kompakten und niederinduktiven Aufbau ermöglicht und im Gegensatz zu z. B. Standard FR4 Leiterplatten eine bessere Wärmeanbindung erlaubt.

Der Betrieb des Wechselrichters bei sehr hohen Taktfrequenzen ermöglicht die Verkleinerung von magnetischen Komponenten und Filtern. Dadurch sollen die Materialkosten für diese Bauelemente verringert werden. Weiterhin soll auch für die magnetischen Bauelemente eine möglichst einfache und kostengünstige Anbindung an die Platine gefunden werden, um einen verbesserten Einbau in das Gerät zu ermöglichen. Durch die Verkleinerung der magnetischen Bauelemente werden jedoch auch die Verlustleistungsdichten dieser Bauelemente ansteigen. Daher müssen für die magnetischen Bauelemente Materialien und Technologien verwendet werden, die zu möglichst verlustarmen Komponenten führen.

*In the BMBF-funded project FLIP<sup>1</sup> the very fast switching of power semiconductor examined, where high switching frequencies to small inverters, specifically for PV applications, should be possible. To achieve these targets, not only new and very fast power semiconductor technologies such as SiC are necessary, but also a new and customized integrated circuits packaging, which creates the conditions for switching within the nanoseconds range. By means of a very low inductive design, new packaging technologies should limit overvoltages across the semiconductor devices and also enable an optimized heat dissipation. As a new approach, the embedding technology will be tested for this power class, since it allows a very compact and low-inductance structure and, in contrast to standard FR4 printed circuit board, it also allows better thermal connection.*

*The operation of the inverter at very high switching frequencies enables the reduction of magnetic components and filters. Thereby, the material costs for these devices can be reduced. Furthermore, a simple and cost-effective connection for the magnetic components on the board will be investigated in order to allow an improved mounting into the device. However, by reducing the size of the magnetic components, the power loss densities of these components will increase. Consequently materials and technologies leading to low level of losses in the magnetic components must be employed.*

<sup>1</sup> FLIP: fast-switching low-impedance process-optimized

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 16ES0129K)**



Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL V. ARAÚJO (EVS)

Titel

## ENERGIEEFFIZIENTE STROMRICHTER DURCH NUTZUNG VON GaN-BAUELEMENTEN (E<sup>2</sup>COGaN)

title

## ENERGY EFFICIENT CONVERTERS USING GaN POWER DEVICES

Das Projekt E<sup>2</sup>COGaN wird die Demonstration von High-Electron Mobility Transistoren (HEMT) GaN-auf-Si in verschiedenen Applikationsbereichen darstellen. Die Hauptziele sind eine höhere Effizienz, höhere Schaltfrequenz, geringeren Platzbedarf und Gewicht sowie wettbewerbsfähige Kosten auf Systemebene in Bezug auf Si- oder SiC.

Das herausragende Potenzial der GaN-Schalter bezüglich Schaltverluste ist eine Folge ihrer hohen Schaltgeschwindigkeitsfähigkeit. Solche Kombinationen von schnellen Strom- und Spannungsübergängen mit Streuinduktivitäten und parasitäre Kapazitäten kann dennoch zu Problemen bei der Treiberschaltung wegen Gleichtaktströmen und erhöhter Isolationsbelastung führen. Um eine mögliche Erhöhung der elektromagnetischen Störungen (leitungsgebundene und abgestrahlte) einzugrenzen, werden neue Design-Strategien sowie geeignete PCB-Layout- und Filtertechniken erforderlich.

Das KDEE untersucht kontinuierlich den Einsatz von WBG-Halbleitern zur Entwicklung innovativer leistungselektronischen Wandler. In dem Projekt ist die Gruppe für den Aufbau eines PV- Wechselrichters mit der GaN-auf-Si-Switches zuständig. Weiterhin wird das Arbeitspaket für die Applikationsdemonstratoren auch vom KDEE geleitet.

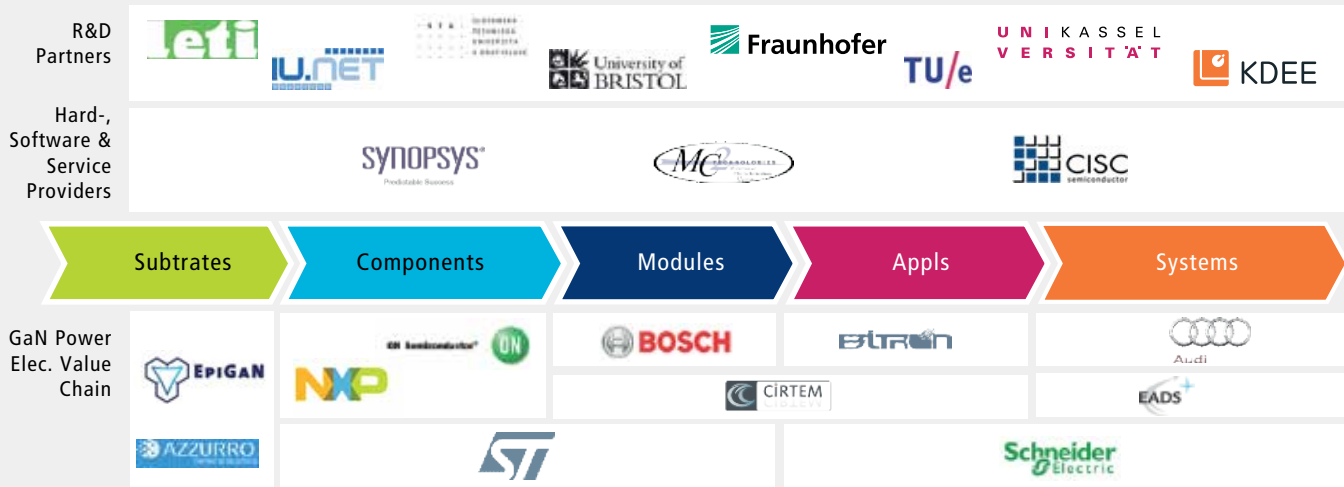
Insgesamt schlossen sich mehr als 20 europäischen Partner zu dem Projekt zusammen, zu denen Universitäten, Kompetenzzentren und Firmen gehören. Weitere Informationen über das Projekt finden Sie auf der offiziellen Website [www.e2cogan.eu](http://www.e2cogan.eu).

The project E<sup>2</sup>COGaN will target the demonstration of GaN-on-Si as an excellent high voltage semiconductor device based on High Electron Mobility Transistors (HEMT). The main aims are higher efficiency, higher switching frequency, smaller package and weight, as well as competitive cost on system level with respect to Si or SiC.

The outstanding performance and potential of the GaN devices regarding switching losses are a consequence of their switching speed capability. Such combination of high speed current and voltage transients with stray inductances and parasitic capacitances leads to issues on the driver circuit regarding common-mode current and high-side driver isolation. In addition, it might increase the electromagnetic emissions (conducted and radiated), possibly requiring new design strategies as well as suitable PCB layout techniques and filtering.

KDEE has been continuously investigating WBG semiconductors towards the development of innovative power converters. In this project, the group is responsible for building a PV demonstrator using the GaN-on-Si switches designed and manufactured within the project scope. Furthermore, the KDEE will coordinate the Work-package dealing with all application demonstrators.

A total of more than 20 European partners joined forces for this project, including universities, competence centers and industries. More information about the project can be found on the official website: [www.e2cogan.eu](http://www.e2cogan.eu)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Gefördert durch: ENIAC Joint Undertaking und Bundesministerium für Bildung und Forschung  
(Förderkennzeichen 16ES0022)

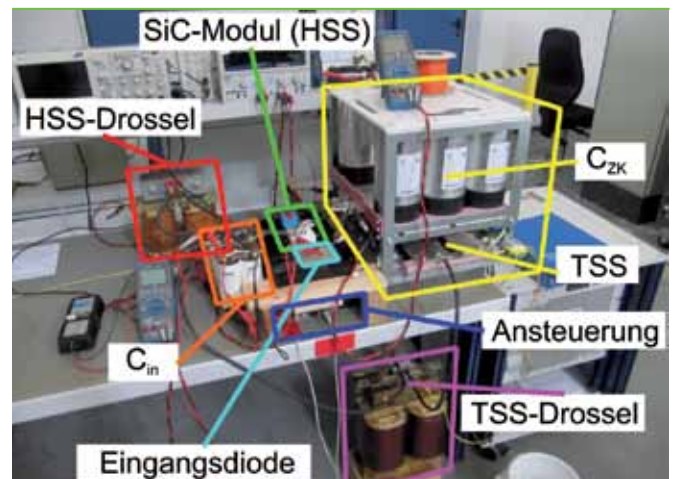
**HHK: Hochfrequenz-Hochstrom-Komponenten für den Einsatz in der Medizintechnik und Photovoltaik-Wechselrichtern der MW-Klasse**

Gemeinsam mit weiteren Partnern aus Forschung und Industrie hat das KDEE ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Forschungsprojekt zum Einsatz von schnellschaltenden Halbleiterbauelementen in Photovoltaik-Wechselrichtern der Megawattklasse gestartet. Ziel des Verbundvorhabens HHK ist es, die Vorteile von schnellschaltenden Halbleiterbauelementen auch für Hochstromanwendungen im höheren Leistungsbereich zu erschließen. Dadurch sollen Wirkungsgrad und Energieeffizienz gesteigert sowie die Kosten der Wechselrichter gesenkt werden.

Große Photovoltaik-Kraftwerke mit Leistungen bis in den Gigawattbereich bilden weltweit eine wichtige Säule für die zukünftige Energieversorgung. Technologische Innovationen tragen dazu bei, die Kosten für die solare Stromerzeugung in diesen Kraftwerken weiter zu senken und die Exportkraft der deutschen PV-Industrie in diesem schnell wachsenden Segment zu stärken.

Vor diesem Hintergrund erforschen die Partner in den kommenden drei Jahren den Einsatz von neuartigen Halbleiterbauelementen sowie niederinduktiven Leistungsmodulen und entwickeln spezielle Lösungen für hocheffiziente, kostengünstige Zentral-Wechselrichter der Megawattklasse. Dabei gilt es, neben der Kostensenkung die besonderen Applikationsanforderungen der Photovoltaik hinsichtlich Funktionalität, Wirkungsgrad und Lebensdauer weiter zu verbessern.

Ein zweites Anwendungsfeld für diesen neuen technologischen Ansatz ist die Medizintechnik. Hier liegt der Fokus vor allem auf dem Hochfrequenzpfad und der Entwicklung von ultrakompakten Medizinumrichtern. Speziell in der Anwendung bei Computertomografen können damit optimale Lösungen realisiert werden, die den höheren Leistungen bei der Röntgenbildgebung Rechnung tragen.

**HHK: High-Current-Components for the application in medical technology and photovoltaic-inverters of MW-class**

Prüfstand für Hochsetzsteller mit SiC-Module

Test-bench for step-up converter with SiC-Modules

Together with several other partners of research and industry the KDEE started a research project founded by the Federal Government Department of Education and Research (BMBF) to investigate the use of high-speed semiconductor-components in photovoltaic-inverters of MW-class. Goal of the joint research project HHK is to find the benefits of high-speed semiconductor-components for high-current-application in high-power sector. Hereby the efficiency shall be increased and the costs of inverters be decreased.

Large photovoltaic power stations with a power up to the GW-sector are an important part of future energy supply. Technologic innovations are necessary to reduce the costs of solar energy production and to strengthen the position of the German PV-industry in this fast growing segment.

Against this background the partners investigate the application of new semiconductor-elements as well as low-inductance power-modules in the next three years and develop particular solutions for high-efficient, competitive central-inverters of the MW-class. Besides the reduction of costs the functionality, efficiency and life expectancy of photovoltaic-systems are main aspects of the project.

Another application area for the new technology is the medical sector. Here the focus lies on the high-frequency and the development of ultra-compact medical inverters. Especially in computer tomography scanners optimal solutions can be realized to fulfill the requirements of high-power in X-ray photography.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Gefördert durch: Bundes-  
ministerium für Bildung und  
Forschung unter dem Förder-  
kennzeichen 16ES0096**

Ansprechpartner

M.ENG. CHRISTIAN FELGEMACHER (EVS)

Titel

**ENTWICKLUNG EINES PHOTOVOLTAIK  
KLEINSTWECHSELRICHTERS**

title

**DEVELOPMENT OF A PHOTOVOLTAIC  
MICROINVERTER**

Photovoltaikmodule wandeln Sonnenlicht in elektrische Energie in Form eines Gleichstroms um. Um diese Energie direkt mit handelsüblichen Elektrogeräten zu nutzen oder in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen ist eine Umwandlung in netzkonformen Wechselstrom erforderlich. Je nach Anwendung kommen verschiedene Wechselrichtertypen zum Einsatz. Ist die für Photovoltaik-Module verfügbare Fläche sehr klein oder gibt es Verschattungsprobleme kommt an jedem Modul ein eigener (Kleinst-/Modul-)Wechselrichter zum Einsatz. Ein derartiger Kleinstwechselrichter wurde im Rahmen „International Future Energy Challenge 2013“ von einem studentischen Team der Uni Kassel – betreut durch das KDEE und EVS – entwickelt.

Das Schaltungskonzept des Kleinstwechselrichters besteht aus einem galvanisch getrennten DC/DC-Steller sowie einem DC/AC Wandler. Der DC/DC Steller erhöht die Eingangsspannung des Wechselrichters (18–40 V) auf ein Zwischenkreisspannungslevel von etwa 380 V. Aus diesem Zwischenkreis kann der DC/AC Wandler Strom in das öffentliche Netz einspeisen bzw. eine lokale Wechselstromlast im Inselbetrieb versorgen. Die Nennleistung des Kleinstwechselrichters liegt bei 500 VA und es wurde ein maximaler Gesamtwirkungsgrad von 93.9 % erreicht.

Beim Finale des Wettbewerbs an der Ohio State University in Columbus (US-Bundesstaat Ohio) von den Studenten präsentierte Gerät wurde von der Fachjury mit dem „Best Innovative Design Award“ ausgezeichnet.

*Photovoltaic modules convert sunlight into electrical power in the form of direct current. To use this energy with conventional electrical appliances or to inject the energy into the public electricity network a conversion into grid-compatible alternating-current is required. Depending on the application different types of inverters are used for this purpose. If the area available for photovoltaic modules is very small or if complex shading situations are encountered a micro-inverter is used for each photovoltaic module. Such a micro-inverter was developed by a student-team of the university – guided by the KDEE and EVS – within the student competition “International Future energy Challenge 2013”.*

*The topology of the micro-inverter consists of a DC/DC converter with galvanic isolation and a DC/AC converter. The DC/DC converter steps-up the inputvoltage of the inverter (18–40 V) to a DC-link levels of approximately 380 V. From the DC-link the DC/AC converter can inject current into the public electricity grid or supply a local AC-load in island operation. The rated power of the micro-inverter is 500 VA and a peak overall efficiency of 93.9 % was reached.*

*In the final competition at the Ohio State University in Columbus, OH (USA) the prototype presented by the student team was awarded the “Best Innovative Design Award” by the judges.*

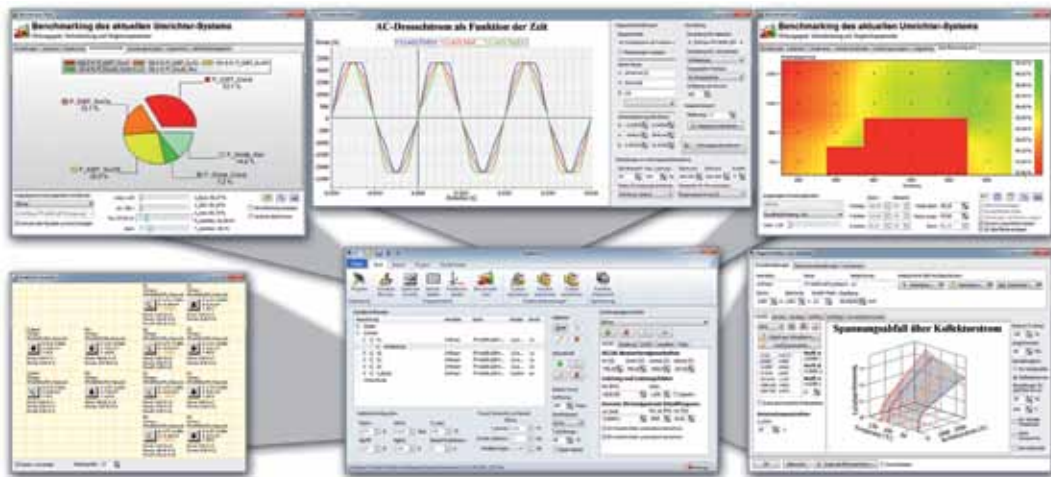


Prototyp des kompakten Kleinstwechselrichters. | Prototype of the compact micro-inverter.

Ansprechpartner  
DIPL.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel  
**BEWERTUNGS SOFTWARE FÜR  
LEISTUNGSELEKTRONISCHE SCHALTUNGEN  
„TOPBENCH“**

title  
**BENCHMARKING-SOFTWARE FOR  
POWER-ELECTRONIC CIRCUITS “TOPBENCH”**



Geöffnete Unterfenster von „TopBench“ | Opened sub-forms of “TopBench”

Im Rahmen der Promotion von Christian Nöding wurde eine Berechnungs- und Bewertungssoftware entwickelt, die den Zeitaufwand zum Vergleich von Leistungshalbleitern und ganzen Schaltungstopologien erheblich vereinfacht. Die „TopBench“ genannte Software ist dabei in der Lage Schalt- und Durchlassverluste von Halbleiterschaltern und Dioden sowie Stromverluste in Widerständen numerisch zu berechnen. Dabei können sowohl verschiedene Modulationsstrategien der Ansteuerung als auch unterschiedlichste Frequenzen und Spannungen berücksichtigt und in Parametersweeps automatisch variiert werden.

Im Gegensatz zur bekannten Schaltungssimulation werden in der neu entwickelten Software weder ein Regelkreis, noch andere dynamische Komponenten benötigt, um die Verluste einer leistungselektronischen Schaltung bei Netzbetrieb untersuchen zu können. Dennoch sind Funktionen wie z.B. Blindleistungsbetrachtung, verschiedene Halbleitertemperaturen und Abschätzungen der minimal benötigten Chipfläche der Halbleiter möglich.

Als Datenbasis können sowohl Datenblattangaben der Halbleiterhersteller per Importfunktion eingelesen, oder aber selbst vermessene Halbleiterdaten aus der automatisierten Kommutierungszelle am KDEE verwendet werden. Die Ergebnisse können schließlich als Kurvenverläufe, Balken- oder Flächendiagramme dargestellt und exportiert werden.

*In the context of the PhD of Christian Nöding a calculation- and benchmarking-software has been developed, to reduce the expenditure of time comparing semiconductors and whole topologies. The program called “TopBench” is able to calculate switching- and conduction-losses of semiconductor-switches and diodes, as well as current-losses in resistors numerically and able to apply different modulation strategies, frequencies and voltages.*

*Compared to circuit-simulation the new developed software does neither need a control-loop nor other dynamic components to investigate losses of a powerelectronics circuit during mains operation. Nevertheless operations like reactive power, different semiconductor-temperatures or estimation of the minimum required chiparea of the semiconductors can be performed.*

*As a database the curves out of datasheets can be used with an import-function. Semiconductor-data measured in the KEE automated commutation cell can be used as well. Finally the calculated results can be displayed and exported as curves, bar charts or area diagrams.*



Ansprechpartner

DIPL.-ING. WOLFRAM KRUSCHEL (EVS)

Titel

**AKTIVE, INTELLIGENTE NIEDERSPANNUNGS-  
NETZE (AINS)**

title

**ACTIVE, INTELLIGENT LOW VOLTAGE GRIDS**

Spannungsregler im Testzentrum  
SysTec des Fraunhofer IWES.  
Voltage regulator in the test centre  
SysTec of Fraunhofer IWES.

Die zunehmende Durchdringung der elektrischen Verteilnetze mit dezentralen Erzeugungsanlagen macht die Entwicklung neuer Netzkonzepte erforderlich. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei die Umsetzung effizienter Ansätze zur dynamischen Spannungsregelung. Dies trifft besonders auf Niederspannungsnetze zu, da hier ein Großteil der in Deutschland installierten Photovoltaikanlagen (Gesamtleistung Ende 2013 ca. 36 GWp) installiert ist. Lösungsansätze für die Spannungshaltung auf der Niederspannungsebene umfassen u. a. den Einsatz innovativer Betriebsmittel wie beispielsweise regelbare Ortsnetztransformatoren und dezentrale Spannungsregler. Während regelbare Ortsnetztransformatoren hauptsächlich für Niederspannungsnetze mit einer überwiegend homogenen Verteilung der Erzeugungsanlagen in Frage kommen, können dezentrale Spannungsregler in kritischen Teilnetzen bzw. Ausläufern eingesetzt werden.

Im Rahmen des Projekts „Aktive, intelligente Niederspannungsnetze“ wurde am KDEE ein Prototyp eines solchen dezentralen Spannungsreglers aufgebaut. Dieser leistungselektronische Längsspannungsregler ermöglicht eine stufenlose, hochdynamische Spannungsregelung mit einem maximalen Spannungshub von 8 % der Nennspannung. Ausgiebige Tests in den Laboren des KDEE im unteren Leistungsbereich dienten u. a. der praxisnahen Entwicklung bzw. Optimierung von Regelung und Betriebsführung. Zum Abschluss des Projekts erfolgte ein Test des Systems in einem realitätsnahen Szenario im Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität (SysTec) des Fraunhofer IWES.

*Due to the increasing penetration of distribution networks with distributed generation units it is necessary to develop new concepts for operating these networks. Here, an essential aspect is the implementation of efficient approaches to dynamically control the voltage. This is especially true for low voltage networks, since the majority of photovoltaic systems installed in Germany (total capacity of ca. 36 GWp at the end of 2013) are connected to networks at the low voltage level. Among others, approaches for ensuring voltage stability in low voltage networks include the use of innovative equipment such as distribution transformers with on-load tap changer and distributed voltage regulators. While distribution transformers with on-load tap changers are mainly a solution for networks with a rather homogenous distribution of generation units, distributed voltage regulators can be used in critical sub-networks or long feeders.*

*Within the project “Active, intelligent low voltage networks”, a prototype of such a distributed voltage regulator was built at the KDEE. This power electronic series voltage regulator is capable of providing a continuous and highly dynamic voltage regulation with a maximum voltage control range of 8 % of the nominal voltage. Extensive tests in the labs of the KDEE in the lower power range were used, among others, for a practical development and optimization of the control system and the system management. The project was completed by testing the system in a realistic scenario in the test centre for smart grids and electromobility (SysTec) of Fraunhofer IWES.*

GEFÖRDERT VOM

**Projektpartner: SMA Solar Technology AG, J. Schneider Elektrotechnik GmbH, E.ON Mitte,  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik  
Gefördert durch: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(Förderkennzeichen 0325202)**



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



Durch den Einsatz innovativer leistungselektronischer Betriebsmittel ergeben sich neue Ansätze für effiziente Netzkonzepte auf der Mittel- und Niederspannungsebene. Bei den Untersuchungen solcher Konzepte für Verteilnetze in Deutschland liegt der Fokus dabei derzeit vor allem auf der Spannungsregelung. Im Rahmen des Projekts „Aktive, intelligente Niederspannungsnetze“ wurde gezeigt, dass beispielsweise leistungselektronische Längsspannungsregler eine effektive Maßnahme zur Spannungshaltung darstellen.

Neben der Spannungsregelung ist mit der Systemstruktur, die diesen Betriebsmitteln zugrunde liegt, prinzipiell auch die Implementierung weiterer Funktionalitäten zur Verbesserung der Versorgungsqualität möglich. Hierzu gehören z. B. das Kompensieren von Blindleistung und die Dämpfung bzw. Kompensation von Oberschwingungen. Solche Eigenschaften, welche aus dem Bereich der aktiven Filter bekannt sind, ermöglichen u. a. den Schutz empfindlicher Lasten oder eine Reduzierung der Netzverluste. Auch für den Betrieb schwacher Netze können zusätzliche Features von wertvollem Nutzen sein.

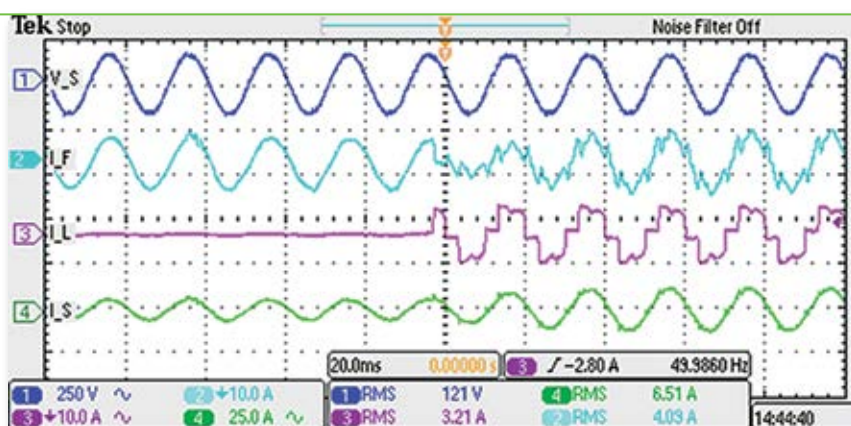
Werden durch die jeweilige Anwendung Funktionalitäten über die Spannungsregelung hinaus gefordert, ist u. U. eine Anpassung der Systemauslegung erforderlich. Alternativ kann eine erweiterte Funktionalität zu einer optimierten Ausnutzung eines primär zur Spannungsregelung installierten Betriebsmittels genutzt werden, um bspw. die Effizienz eines Energieversorgungssystems zu erhöhen.

*The use of innovative power electronic network equipment opens up new approaches for efficiently operating distribution networks at the medium and low voltage level. Current research activities investigating such approaches for German distribution networks focus mainly on issues regarding the voltage regulation. As it was shown as part of the project “Active, intelligent low voltage networks”, efficient devices for maintaining voltage stability are e.g. power electronic series voltage regulators.*

*In addition to the voltage regulation, the power electronic platform on which these devices are based also allows the implementation of further features for improving the power quality. Among others, this includes the compensation of reactive power and the mitigation or cancellation of harmonics. These features, which are known from active power filters, can enable the device to protect sensitive loads or to reduce line losses. Also, such additional functionality can be a valuable benefit for the operation of weak networks.*

*If the respective application requires features beyond voltage regulation, it may be necessary to adjust the system design accordingly. Alternatively, it is possible to use extended functionality for optimizing the utilization of a device that was installed primarily for regulating the voltage e.g. to increase the efficiency of a power system.*

Prüfstand des leistungselektronischen Netzreglers mit Eigenschaften eines Längsspannungsreglers bzw. aktiven parallelen Filters.  
*Test bench of the implemented power electronic network controller operating as series voltage regulator and parallel active filter.*



◀ Beispielhaftes Messergebnis mit Kanal 1 als Netzspannung, Kanal 2 als Laststrom, Kanal 3 als Filter Strom und Kanal 4 als resultierender Strom.  
*Exemplary measurement results showing grid voltage as channel 1, load current as channel 2, filter current as channel 3 and resultant grid current as channel 4.*

GEFÖRDERT VOM





Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS (EVS)

Titel

**STUDIE ZUR VERÄNDERUNG DER NETZKURZSCHLUSSLEISTUNG**

title

**STUDY ON THE MODIFICATION OF THE GRID SHORT CIRCUIT POWER****Studie zur Veränderung der Netzkurzschlussleistung beim Übergang von einem zentral zu einem dezentral gespeisten Energieversorgungssystem**

Eines der derzeitigen politischen Ziele im Energiesektor Deutschlands ist die Vergrößerung des Anteils erneuerbarer Energie an der elektrischen Energieversorgung. Die Vorhersagen bezüglich des steigenden Anteils erneuerbarer Energien, aber auch die geplanten und bereits durchgeführten Abschaltungen von Kernkraftwerken und großen konventionellen Kraftwerken erfordern eine Untersuchung potenzieller Änderungen des zukünftigen Energieversorgungssystems. Die Kurzschlussleistung ist eine wichtige Bewertungsbasis z. B. für die Netzkapazität, Netzqualität, Netzstabilität, die Versorgungsqualität, den Netzschutz und die erforderlichen Maßnahmen bei Netzstörungen. Die im Bericht präsentierten abschätzenden Berechnungen dienen als Basis für die Analyse und die Diskussion über mögliche Konsequenzen der Energiepolitik für das zukünftige Energieversorgungssystem in Deutschland.

Die Studie betrifft sowohl die Verringerung als auch die Vergrößerung von Kurzschlussleistung im elektrischen Netz auf verschiedenen Spannungsebenen bezogen auf die Referenzjahre 2020 und 2032. Bis 2032 kann selbst unter sehr unwahrscheinlichen Bedingungen eine Reduktion der Kurzschlussleistung um bis zu 20 % bezogen auf das Jahr 2010 erwartet werden. Berücksichtigt man den derzeitigen Stand der Technik, ist dies tolerierbar. In der Studie wurde angenommen, dass alle potenziellen Energiequellen im Rahmen der existierenden Grid Codes für die entsprechenden Spannungsebenen mit dem Netz verbunden bleiben. Auf diese Weise bleiben sie in der Lage, das Netz im Fall von Kurzschlüssen zu stützen. Damit erscheint das angenommene Problem mehr als ein regulatorisches Problem für angeschlossene Energielieferanten als ein technisches Problem.

Anschlussvarianten der regenerativen Erzeugungsanlagen an das MS-Netz in Sincal (oben) und Ersatzgeneratoren in PowerFactory (unten). Der Buchstabe „k“ symbolisiert die Einspeisung von Blindstrom auf Basis eines k-Faktors, die Zahl „0“ dagegen bedeutet, dass die Anlage keinen Kurzschlussstrombeitrag liefert.

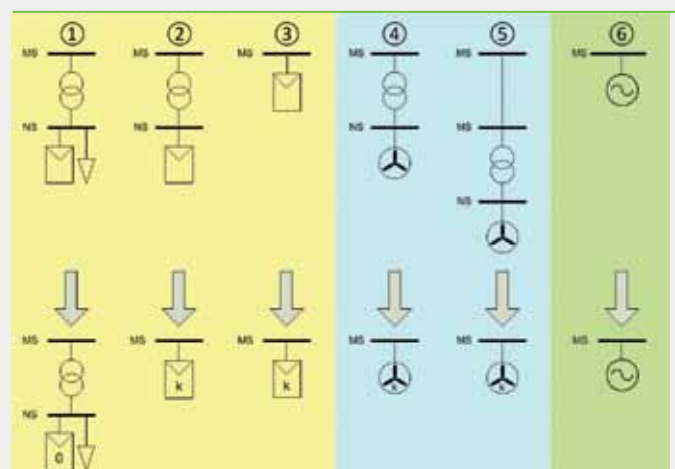
Connection variants for the renewable energy generators on the medium-voltage grid in Sincal (above) and equivalent generators in PowerFactory (below). The letter “k” symbolizes the feed-in from reactive power based on a k-Factor, the Number “0” represents in contrast the fact that the facility does not deliver short-circuit current.

**Study on the modification of the grid short circuit power with the transition from a central to a decentralized power supply system**

One of the current policy objectives in the energy sector in Germany is to increase the share of renewable energy in the electricity supply. The prediction of the increasing share of renewable energies as well as the already made and planned shutdowns of nuclear power plants along with the power reduction from other conventional large power plants require an assessment of potential changes in future energy supply system. The short-circuit power is an important basis for the evaluation of, for example, network capacity, network stability, quality of delivery, protection and network perturbations.

The study concerns both the decrease and the increase of short circuit power in electric networks of different voltage levels within the reference years 2022 and 2032. Until 2032 can be expected even at very unlikely conditions a reduction up to 20 % compared to 2010. This is tolerable according to the state of art of technology.

For the study it was assumed that all potential power sources stay connected to the grid within the framework of the existing grid codes for the according voltage level. This way they are able to deliver current to support the grid in case of short circuits. Thus the supposed problem occurs more as a regulation problem than a technical problem.



GEFÖRDERT VOM

**Projektpartner: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, E.ON Mitte, Stadtwerke Kassel**  
**Gefördert durch: Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**  
**(Förderkennzeichen 0325360A)**



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS (EVS), M.SC. DARÍO LAFFERTE (e<sup>2</sup>n)

Titel

**MACHBARKEITSSTUDIE ZUR BEREITSTELLUNG GEREGLTER KURZSCHLUSSLEISTUNG**

title

**FEASIBILITY INVESTIGATIONS FOR DELIVERY OF CONTROLLED SHORT CIRCUIT POWER****Machbarkeitsuntersuchungen zur Bereitstellung geregelter Kurzschlussleistung durch doppelt gespeiste Asynchron-Generatoren****Feasibility investigations for delivery of controlled short circuit power by doubly fed induction generators (DFIG)**

Milena Dias und Adil Ezzahraoui bei experimentellen Tests in der Endphase des Projekts.  
 Milena Dias and Adil Ezzahraoui at experimental tests in the final phase of the project.



Der 10kVA-Versuchsstand  
 Experimental 10kVA-setup

Die Machbarkeitsuntersuchung beschäftigt sich mit der Bereitstellung höherer geregelter Kurzschlussleistung durch doppeltgespeiste Asynchron-Generatoren. Die Lieferung höherer Kurzschlussleistung ermöglicht, das elektrische Netz bei Spannungseinbrüchen aktiv durch Blindstromeinspeisung zu stützen. Während die derzeitigen Netzanschlussrichtlinien lediglich die Bereitstellung des Nennstroms (der 1-fachen Kurzschlussleistung) verlangen, verfolgt das Projekt das Ziel, durch innovative Regelungskonzepte, leicht geänderte leistungselektronische Peripherie und modellgestützte Eingriffe in die Steuerung die Bereitstellung höherer Kurzschlussleistung zu ermöglichen. Dazu gehört auch, den Zeitraum zu verkürzen, in dem nach einem starken Spannungseinbruch der Generator handlungsunfähig wird, weil die starken Ausgleichsströme des Rotors durch eine Crowbar vom Umrichter ferngehalten werden, um den maschinen- seitigen Wechselrichter vor Zerstörung zu schützen. Erst nach dieser Zeit, die von der Maschinenseite durch die magnetisch gespeicherte Energie mitbestimmt wird, ist eine geregelte Einspeisung von (Blind-)Strom erneut möglich. Die verschiedenen Lösungsansätze wurden zunächst durch Simulationen getestet und dann in einem experimentellen Aufbau mit einer installierten Leistung von 10 kVA in seinen wesentlichen Funktionen getestet. Die Ergebnisse wurden in einer Patenteinreichung fixiert und trugen wesentlich zur erfolg- ten Einreichung der Dissertation von Darío Lafferte bei.

The feasibility study deals with the delivery of higher regulated short circuit power by doubly fed induction generators. The delivery of higher short circuit power enables to support the electric grid in case of voltage drops actively by feeding in reactive current. While the present connection guidelines for the grid require only the supply of the nominal current (the 1 p.u. short circuit current), the project pursues the purpose to allow by a slightly changed power electronic periphery and model-based changes of the control system the delivery of higher short circuit power by innovative control approaches. In addition to the problems to be solved also belongs to shorten the period in which after a deep voltage dip the generator becomes action-incapable. This is because the strong currents of the rotor have to be kept away from the AC/AC-converter by a crowbar to protect the machine-side inverter against destruction. Only after this time which is mainly influenced by the magnetically stored energy within the generator a controlled feed in of (reactive) current is possible again. The different solution attempts were tested at first by simulations and then tested in an experimental setup with an installed power of 10 kVA to proof the main functions. The new developed principle is fixed in a patent application of the University of Kassel and contributed to the finishing of Darío Laffertes PhD thesis.

Gefördert durch: Johannes Hübner Stiftung, Gießen





Ansprechpartner

M.SC. EDUARDO FAÇANHA DE OLIVEIRA, DIPL.-ING. BENJAMIN DOMBERT (EVS)

Titel

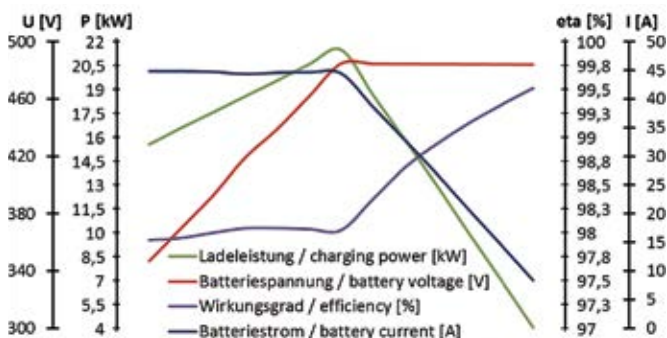
## ENTWICKLUNG EINES FLEXIBLEN, HOCHFIZIENTEN UND KOMPAKTEN DREIPHASIGEN SCHNELLLADEGERÄTS FÜR E-MOBILITÄT

title

## DEVELOPMENT A FLEXIBLE, HIGHLY EFFICIENT AND COMPACT THREE-PHASE FAST BATTERY CHARGER FOR E-MOBILITY

Eine immer noch große Hürde für die großflächige Verbreitung von Elektrofahrzeugen im motorisierten Individualverkehr besteht in deren begrenzter Reichweite. Neben der kostspieligen Installation vergrößerter Batteriekapazitäten bietet eine signifikante Verkürzung der Ladevorgänge eine interessante Möglichkeit, diesen Schwachpunkt anzugehen. So können ohnehin anfallende Standzeiten der Fahrzeuge zum Nachladen genutzt werden. Um dies innerhalb kurzer Zeit zu ermöglichen, entwickelt das KDEE, basierend auf einer neuartigen 5-Level-Topologie, ein Batterieladegerät für Lithium-Ionen-Akkus. Dieses ist als onboard-Lösung konzipiert, wodurch der Aufbau einer separaten und kostspieligen Ladeinfrastruktur entbehrlich ist. Die Topologie ermöglicht eingangsseitig den Betrieb an ein- wie dreiphasigen Netzen sowie verschiedenen Netzspannungen und -frequenzen und ist dadurch auch international freizügig einsetzbar. Ausgangsseitig ist die Adaption an einen sehr weiten Batteriespannungsbereich problemlos möglich.

Range limitations are still a serious obstacle for a broader usage of electric vehicles (EV) in individual motor car traffic. Besides the expensive possibility of installing higher battery capacities on board of the cars, speeding up charging procedures is a great chance to overcome this issue. Thus, times of standstill, which occur in any case, can be utilized to recharge the cars' batteries. In order to allow such procedure, KDEE is developing a battery charger for Li-Ion batteries, based on a novel 5-level-topology. It is designed as an on-board solution, so the installation of an individual and expensive EV charging infrastructure is unnecessary. The topology can operate from one- as well as three-phase mains and is capable of different input voltage and frequency ranges. Thus, flexible international application is possible without any problems. On the output side of the converter, easy adaption to a wide battery voltage range is inherently possible as well.



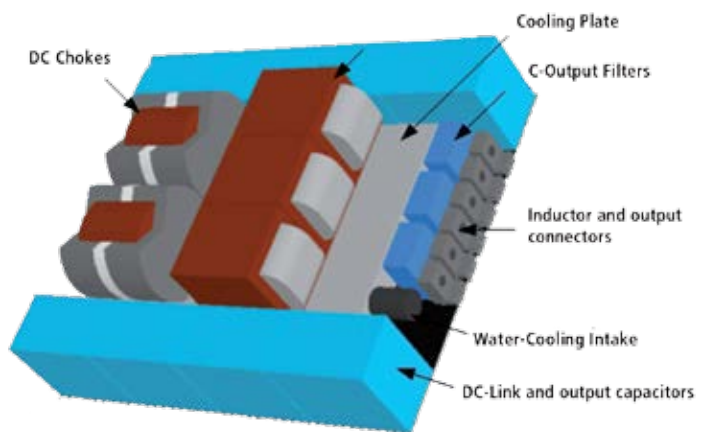
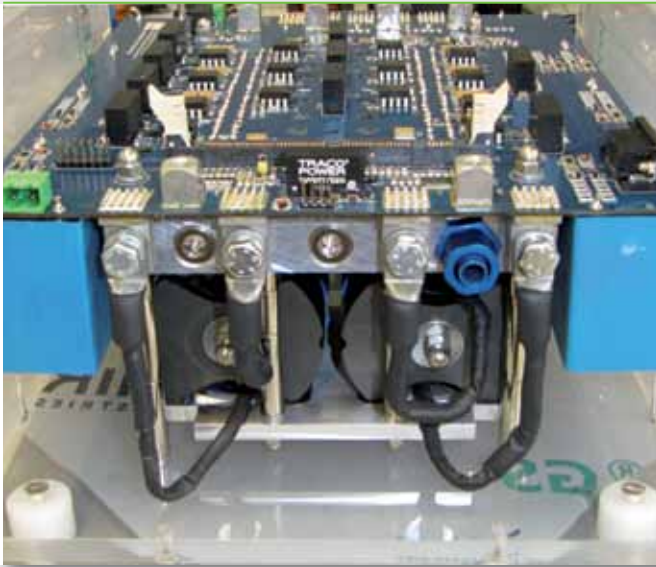
Test des Prototypen unter Berücksichtigung einer realistischen Batterie-Lade-kennlinie (Messergebnisse, links); Final Prototype (rechts)

Test of the prototype considering a realistic battery charging profile (experimental results, left); final Prototype (right)



Im Berichtszeitraum wurden zahlreiche Verbesserungen im Bereich der Regelung, der Messwerterfassung und des Wärmemanagements durchgeführt, sodass der praktische Tauglichkeitsnachweis bis zu einer Eingangsnennleistung von 22 kW (32 Arms je Phase bei 3~400 V) erbracht werden konnte. Hierbei wurden Leistungsfaktoren größer 0,99, hohe Wirkungsgrade von bis zu 98,7 %, sowie sehr geringe Oberschwingungsströme gemessen. Auch die Gehäusetemperaturen der Leistungshalbleiter lagen mit ca. 65 °C im Maximum erfreulich niedrig, was dem beabsichtigten Einsatz im Automobilbereich entgegenkommt.

During the report period, several improvements were made in the fields of control, signal processing and thermal management, thus enabling the practical proof of usability up to a rated input power of 22 kW (32 Arms per phase from 3~400 V). Power factors above 0.99, very low harmonic current distortion, and efficiencies up to 98.7 %, were measured during the tests. Besides these results, case temperatures of semiconductor devices reached about 65 °C at maximum, which is important for the desired on-board automotive application.



3D- und seitliche Ansicht des Prototyps  
3D- and lateral view of the prototype

Aus den erzielten Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass die neuentwickelte Topologie für die gegebenen Randbedingungen sehr gut geeignet ist, und zusätzliches Optimierungspotential, insbesondere im Hinblick auf weitere Baugrößen- und Gewichtsreduktionen, besteht. Dieses soll als nächstes, durch Aufbau eines zweiten Demonstrators, erschlossen werden. Weiterhin wird ein theoretischer Vergleich mit einfachen, herkömmlichen Topologien, aber in Verbindung mit neuartigen, innovativen Leistungshalbleitern auf Basis von Siliziumkarbid (SiC), durchgeführt, um die besonderen Potentiale dieser Halbleitertechnologie im Vergleich zur 5-Level-Topologie (in Verbindung mit preiswerten Standard-Komponenten) zu ermitteln. Schließlich sollen alternative Regelungsverfahren untersucht werden, durch welche ggfs. eine weitere Reduktion von Verlusten oder Bauteilbelastungen erreicht werden kann.

*From the obtained results, one can see that the novel topology is suited very well for the given design constraints. Furthermore, it offers several additional optimisation capabilities, especially concerning volume and weight reduction. For the next steps, these optimisations will be done by building a second prototype. Furthermore, a theoretical comparison between the 5-level topology and simple, conventional ones, but together with novel and innovative silicon carbide (SiC) semiconductors, will be performed in order to determine the special potentials of SiC in comparison with the 5-level topology, which, in contrast, uses low-cost state-of-the-art components. Finally, alternative control strategies, which might enable further reductions of losses or device stresses, will be investigated.*



Laboraufbau | Laboratory test bench



Gefördert durch: ECPE Joint Research Programme



Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO, DIPL.-ING. WOLFRAM HOFMANN (EVS)

Titel

**ELEKTROMOBILITÄTSKONZEPT MIT TEIL-AUTONOMEN FAHRZEUGEN (ELECTRICAL EXPLORE VEHICLE – E2V)**

title

**E-MOBILITY CONCEPT FOR SEMI-AUTONOMOUS VEHICLES (ELECTRICAL EXPLORE VEHICLE – E2V)**

Auf dem Weg zu marktfähigen Elektrofahrzeugen sind wesentliche technologische Hürden zu überwinden. Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität – Strom“ fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Projekt E2V (Förderkennzeichen 16N11722) unter der Leitung von Prof. Brabetz (Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik).

Für viele abgeschlossene Räume, insbesondere Parks und Kulturlandschaften, ist es wünschenswert, dass sich gerade ältere oder bewegungseingeschränkte Menschen fortbewegen können, ohne die Infrastruktur anpassen zu müssen. Hier setzt das Projekt E2V an und entwickelt für diese Nutzungsszenarien ein kompaktes, wendiges und leichtes Elektrofahrzeug für bis zu zwei Personen.

Am KDEE wurden die leistungselektronischen Baugruppen, wie Antriebswechselrichter und Bordnetzwanandler, in enger Zusammenarbeit mit den insgesamt 10 Projektpartnern aus Forschung und Industrie entwickelt.

[www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html](http://www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html)

*On the way towards saleable electric vehicles major technological obstacles have to be overcome. Within the focal point of support “key-technologies for e-mobility” the German Federal Ministry of Education and Research sponsors among other things the research of electric-vehicle concepts under the coordination of Prof. Brabetz (Department Vehicle Systems and Basics of electrical engineering).*

*For many enclosed areas, like parks and other landscapes, it is desirable to give older or people with walking disabilities the opportunity to be mobile, without changing infrastructural conditions. For this purpose the project-participants from research and industry develop a light, compact and agile vehicle for up to two passengers.*

*The KDEE therefore developed power electronic components like the drive inverter and the dc-dc-converter for the on-board power supply.*

[www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html](http://www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/fsg/forschung/e2v.html)



Laboraufbau Leistungselektronik  
Experimental setup power electronics

Fahrzeugprototyp  
Vehicle-prototype



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Projektpartner: Universität Kassel (Fachgebiet Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik, Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik, Fachgebiet Leichtbau-Konstruktion, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik), E.ON Mitte AG, FINE Mobile GmbH, Ernst Hombach GmbH & Co. KG, Hymer Leichtmetallbau GmbH & Co. KG, Krebs und Aulich GmbH, Hella KGaA Hueck & Co.**

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 16N11722)**

Ansprechpartner

DIPL.-ING. THIEMO KLEEB, DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO (EVS)

Titel

## **AUTOMOTIVE BORDNETZWANDLER FÜR ELEKTRO- UND HYBRIDFAHRZEUGE MIT GaN-BAUELEMENTEN**

title

## **AUTOMOTIVE ON-BOARD POWER SUPPLIES FOR ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES WITH GaN-DEVICES**

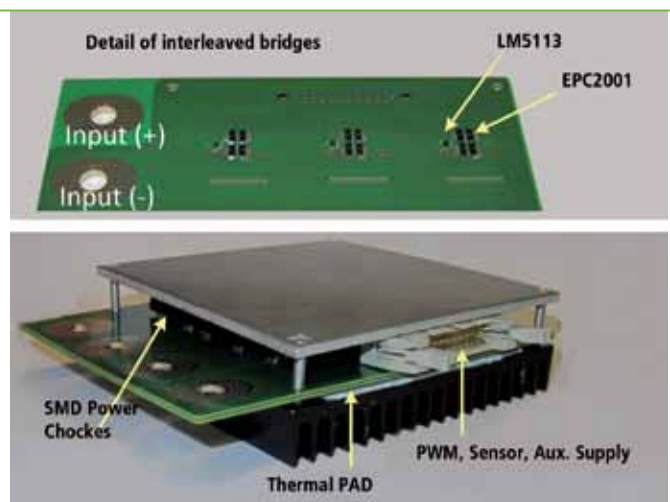
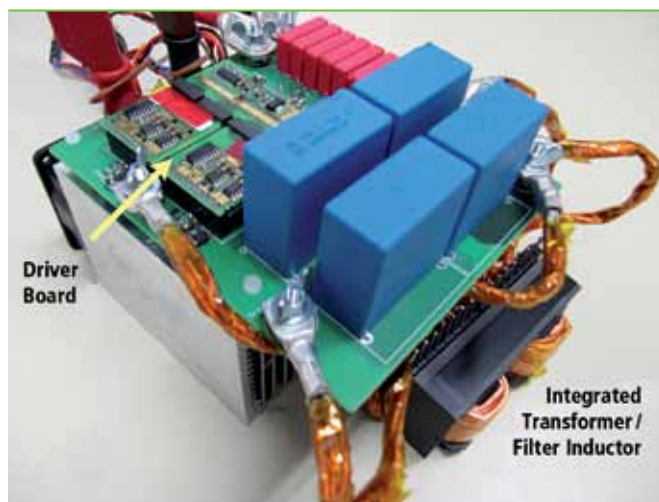
Bei Elektro- und Hybridfahrzeugen ersetzt der Bordnetzwan- dler die klassische Lichtmaschine, mit dem Ziel die Energie von der Hoch- spannungsbatterie zum Niederspannungs-Bordnetz zu übertragen. Dabei sind kleines Volumen und Gewicht sowie ein hoher Wirkungs- grad und geringe Kosten die wichtigsten Anforderungen für Auto- motive-Konverter.

Daher untersucht das KDEE verschiedene Technologien und Lösun- gen für die Realisierung von Automotive-Konvertern. Neue Halblei- ter-Technologien wie GaN versprechen hohe Wirkungsgrade auch bei erhöhten Schaltfrequenzen und erlauben daher die Verkleinerung von magnetischen Komponenten und Filtern. Weitere Kosteneispa- rungen können durch die funktionelle Integration der magnetischen Komponenten des Wandlers erreicht werden. Dabei werden mehre- re magnetische Bauelemente so integriert, dass diese Bauelemente durch ein einziges ersetzt werden können. Dadurch entsteht nicht nur das Potential Materialkosten und Gewicht einzusparen, sondern auch eine schnellere und damit günstigere Fertigung des Konverters zu erreichen, was vor allem bei größerem Produktionsvolumen ein entscheidender Vorteil sein kann.

Das KDEE hat bereits mehrere Bordnetz-Wandler Prototypen für 12 V und 48 V Bordnetze mit einer Leistung von 2,5 kW und galvanischer Trennung untersucht.

*For electric and hybrid vehicles the classical automotive alternator is replaced by an electronic on-board power supply, where the objective is the energy transfer from a high voltage battery to a low voltage on-board grid. Therefore small size, low weight as well as high efficiency and low costs are the most important requirements for automotive converters.*

*Currently KDEE investigates different technologies and designs for the realization of automotive converters. So far, several 2.5 kW on-board power supplies, applicable for 12 V and 48 V on-board grids, were investigated. New semiconductor technologies like GaN promise high efficiency even at elevated switching frequencies and therefore enabling a downsizing of magnetic components and filters. Further cost-reductions can be enabled by the introduction of functional integrated magnetic components. Several magnetic components will be integrated in a way that they will be replaced by only one component. This enables not only the potential to lower the weight and therefore the materials costs but will also enable a faster and therefore cost-efficient converter assembly, which can be a superior advantage especially for large-scale productions.*



Bordnetzwandler Prototypen : links 2,5 kW, 400 V – 48 V mit funktions-integrierter magnetischer Stromverdoppler und rechts : 1.5 kW 12 – 48 V ohne Isolation.

*On-board power supply prototypes: on the left 2.5 kW, 400 – 48V with functional integrated magnetic current doubler and on the right 1.5 kW 12 – 48 V without isolation.*



Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO, SEBASTIAN SPRUNK (EVS)

Titel

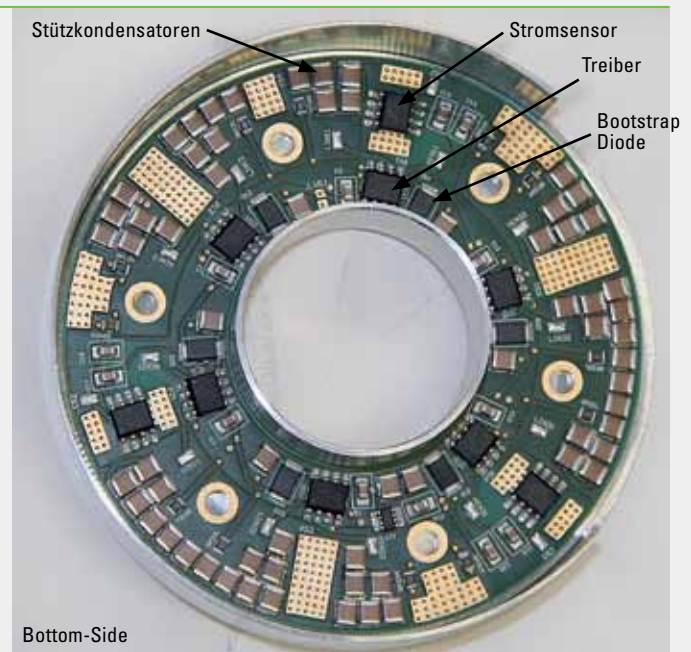
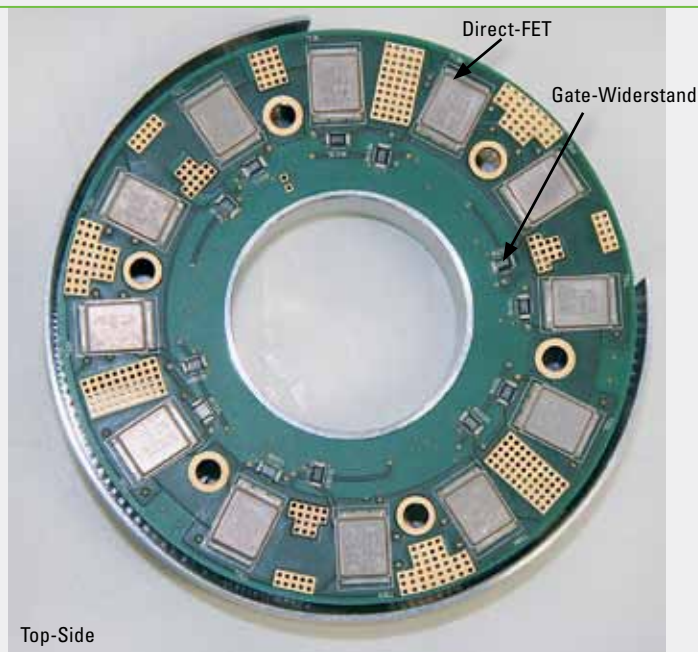
## LEISTUNGSELEKTRONISCHER ANTRIEBS- UMRICHTER FÜR VIELPHASIGEN BÜRSTEN- LOSEN GLEICHSTROMMOTOR

title

## POWER ELECTRONICS DRIVE INVERTER FOR MULTIPHASE BRUSHLESS DC-MOTOR

Die zunehmende Elektrifizierung verschiedener Fahrzeugfunktionen führt zu einer steigenden Integration zwischen leistungselektronischen Systemen und elektrischen Maschinen. In diesem Zusammenhang wurde eine Konzeptstudie durchgeführt, deren Hauptziel die Entwicklung eines Antriebsumrichters zur direkten Integration mit einer vielphasigen BLDC Maschine war. Die Maschine ist für den Betrieb als Getriebeölpumpe spezifiziert. Zwei Hauptherausforderungen mussten hier adressiert werden, nämlich der sehr kompakte Bauraum (0,06 L) und die sehr hohe Betriebstemperatur (bis 140 °C Öltemperatur).

*The growing electrification of diverse automotive functions is leading to an increasing integration of power electronics systems and electric machines. Within this context, the present concept study had as main objective the development of a drive inverter for direct integration with a multi-phase BLDC machine, which was specified as a gearbox oil pump. Two main challenges needed to be addressed here, namely the very compact space (0,06L) and also very high operating ambient temperature (up to 140 °C oil temperature).*



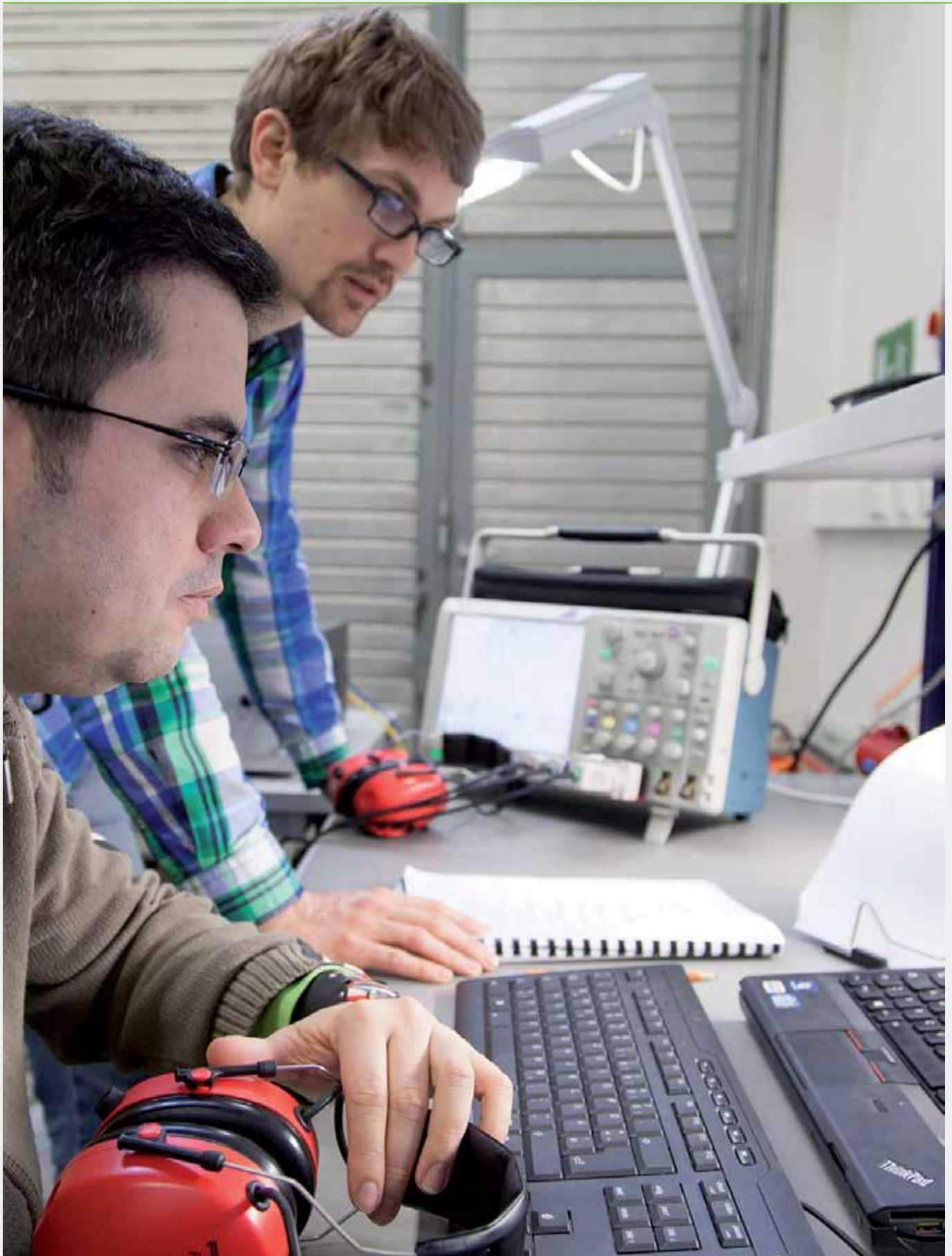
Obere und untere Seite einer der entwickelten Leiterplatten

*Top and bottom view of one of the developed power boards*

Zu diesem Zweck sind in Rahmen des Projekts zunächst mehrere Alternativen zur Kühlung der Elektronik bewertet und durch experimentelle Messungen verglichen worden. Das ausgewählte, endgültige Konzept besteht aus einer engen Integration zwischen Leiterplatte und Gehäuse, das auch als Kühlkörper fungiert. Weiterhin sind hier Direct-FETs™ der Firma IRF eingesetzt worden, womit eine optimale Wärmeabfuhr erreicht werden konnte. Eine weitere Aufgabe des Projekts bestand darin, technische Engpässe bzgl. der Betriebstemperatur und Kompaktheit für die erforderlichen Bauelemente in der Peripherie der Schaltung zu identifizieren.

*For such purpose, several alternatives for cooling the electronics were investigated and compared by means of experimental measurements in this project. The final concept relied on a close integration between the power board and casing, which also served as a heatsink. Furthermore, Direct-FETs™ from the company IRF were employed, since they offered the best heat dissipation possibility. Another task of the project was the identification of technical bottlenecks concerning the operating temperature and compactness of required components for the periphery of the circuit.*

**Gefördert durch: Volkswagen AG**





Ansprechpartner

DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO, MARKUS HORN (EVS)

Titel

**LEISTUNGSELEKTRONIK FÜR EIN PEDELEC**

title

**POWER ELECTRONICS SYSTEMS FOR A PEDELEC**

Der zunehmende Druck zur Reduzierung der Emissionen in dem Verkehrssektor hat in letzter Zeit zu der Entwicklung von neuen Elektromobilitätskonzepten geführt. Ein Beispiel hierbei sind Pedelecs, welches Fahrräder mit einem kleinen elektrischen Motor als Hilfsantrieb sind.

Im Rahmen dieses Projekts wird eine hochintegrierte Platine für einen Prototyp Pedelec entwickelt. In einer solchen Platine sind neben dem dreiphasigen Wechselrichter, eine Vielzahl von elektrischen und Hilfssensoren und schließlich der DSP mit CAN-Schnittstelle für externe Geräte integriert. Auf diese Weise können erhöhte Komfort-Funktionen durch eine erweiterte Integration von Benutzerschnittstellen und elektrischen Maschinensteuerung ermöglicht werden.

Dank der hohen Kompaktheit ist es möglich, die Platine direkt innerhalb des Getriebes zu integrieren, in der Nähe der elektrischen Maschine. Die Kühlung findet hierdurch direkt über das Gehäuse statt, so dass weitere Volumen- und Materialeinsparungen möglich sind.



Beispiel eines Pedelecs [Quelle : KTM]

*Example of a pedelec [Source : KTM]*

*The increasing pressure towards the reduction of emissions in the transportation sector is driving the development of several new electric mobility concepts. One example here are pedelecs, which are bicycles electrically assisted by a small electric motor.*

*Within the scope of this industry project, a highly integrated board for a prototype pedelec is being developed. Such board is comprised of the three-phase inverter, a multitude of electric and auxiliary sensors and finally the controlling DSP with CAN interface for external devices. This way, an advanced integration between user interfacing and electrical machine control can enable increased comfort functionalities.*

*With the high level of attained compactness it is possible to directly integrate the board within the gearbox, near the electrical machine. The cooling takes place directly through the system casing, enabling further volume and material savings.*



Prototyp der Leiterplatte zur Integration in dem Pedelec

*Prototype of the printed board for integration on the pedelec*

Ansprechpartner

M.SC. MILENA DIAS (EVS)

Titel

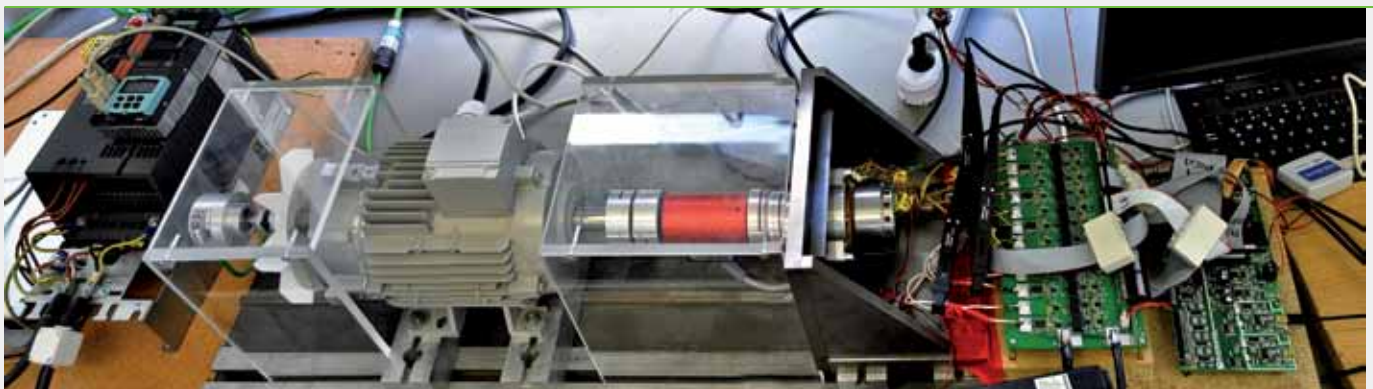
## ROBUSTE REGELUNG EINER MEHRPHASIGEN BÜRSTENLOSEN DC-MASCHINE (BLDC) FÜR EINEN HILFSANTRIEB

title

## ROBUST CONTROL OF MULTIPHASE BRUSHLESS DC-MACHINE (BLDC) FOR AUXILIARY DRIVES

Die Verwendung von Maschinen mit Permanentmagnetenerregung ist in den letzten Jahrzehnten deutlich angestiegen. Aufgrund der trapezförmigen Induktionsform ist die Drehmomentdichte in einer BLDC Maschine größer als in sinusförmigen Synchronmaschinen mit Permanentmagnetenerregung. Aus diesem Grund wird der BLDC Motor als der effektivste Motor für Anwendungen betrachtet, bei denen hohe Effizienz und hohe Leistungsdichten gefordert sind.

*The use of the permanent magnet machines has considerably grown in the last decades. Due to the trapezoidal induction profile the torque density in a BLDC is higher than in sinusoidal permanent magnet synchronous machines. For this reason the BLDC motor has been considered the most effective motor for applications where high efficiency and high power density are required.*



Versuchsstand mit Leistungs- und FPGA Steuerungsboard

*Test-Bench with power and FPGA control boards*

Das Anwendungsgebiet von mehrphasigen Maschinen ist gewachsen, um somit zu gleichmäßigeren Drehmomenten und einer besseren Ausfallsicherheit in den elektrischen Maschinen zu gelangen. Daher werden die mehrphasigen Maschinen in Automobilantrieben verwendet, wo eine hohe Zuverlässigkeit und der sichere Einsatz im Fehlerzustand gefordert ist.

Vor diesem Hintergrund entwickelt das KDEE eine leistungselektronische Schaltung mit einem integrierten Kontrollsystem für neuartige, mehrphasige, fehlertolerante BLDCs.

Neben der Verbesserung der Effizienz ist es das Ziel des KDEE, ein kompaktes modulares Design zu entwickeln, um so die Ausfallsicherheit der BLDC Maschine durch Störungen und die Sicherheitsfunktionen unter hohen Temperaturen zu erreichen.

Die Regelstrategie basiert auf einer robusten Regelung und ist entwickelt worden, um gute Eigenschaften der Drehzahl- und Stromregelung einer BLDC, unter Laststörungen und mit Parameterunsicherheiten, sicherzustellen. Der dargestellte Regler ist in einem FPGA mittels VHDL Code integriert, so dass eine zeitdiskrete Umsetzung mit hoher Abtastfrequenz gewährleistet wird.

*The field of multiphase machines' applications has increased in order to obtain a smoother torque and high fault tolerance in electric machines. Therefore, the multiphase machines are used in automotive drives where the high reliability and safe operation under fault conditions are required.*

*Against this background we are developing power electronic circuits and control strategies for a novel type of multiphase fault tolerant BLDC.*

*Besides improving efficiency our aim is to create a compact modular design in order to achieve an increased fault tolerance of the drive and a safe operation under high temperatures.*

*The control strategy is based on a robust controller and is developed to ensure a high performance speed and current control of the BLDC under load disturbances and parameter uncertainties. The proposed controller is implemented in FPGA with VHDL code, ensuring a discrete-time implementation with a high sampling frequency.*



Ansprechpartner  
B.SC. SEBASTIAN SPRUNCK (EVS)

Titel  
**ELEKTRONIK FÜR DIE ANWENDUNG IN HOCH-  
LEISTUNGS-RENNFAHRZEUGEN**

title  
**ELECTRONICS FOR THE APPLICATION IN  
HIGH PERFORMANCE RACE CARS**



Der Rennwagen der Saison 2014 "Pegasus" auf dem Hockenheimring bei der Formula Student Germany.

*The 2014's season race car „Pegasus“ on the Hockenheimring at the Formula Student Germany.*

Um am internationalen studentischen Konstruktionswettbewerb „Formula Student“ teilzunehmen, arbeiten ca. 60 Studenten der Universität Kassel jedes Jahr daran, einen einsitzigen Formel-Rennwagen zu entwickeln. Ziel des Wettbewerbs ist es, Studierenden so früh wie möglich das projektorientierte Arbeiten näher zu bringen sowie Praxiserfahrungen zu sammeln und ihre Ideen im internationalen Vergleich untereinander zu messen.

Neben der Mechanik und dem verbrennungsmotorischen Antrieb ist auch die Elektronik ein integraler Bestandteil, der fortlaufend weiterentwickelt werden muss, um den gesteigerten Anforderungen gewachsen zu sein. Da Rennfahrzeuge allgemein auf maximale Effizienz getrimmt sein müssen, muss dies natürlich auch für die Fahrzeugelektronik gelten. Verluste und Gewicht müssen minimiert, gleichzeitig aber auch die Leistungsfähigkeit optimiert werden.

Weiterhin tragen elektronisch erfasste Messdaten dazu bei, wertvolle Informationen über das Verhalten des Fahrzeugs auf der Strecke zu sammeln und Verbesserungspotential für die jeweils nächste Saison zu ermitteln.



CAD-Entwicklungsstand (28.01.2015) des Rennwagens der Saison 2015.

*CAD-Development (as per 28.01.2015) of the 2015's season vehicle.*

*To compete in the international student's design competition "Formula Student", each year about 60 Students of the University of Kassel are working on the development of a single seated Formula-Type race car. The competition's purpose is to provide students with early experiences regarding project-oriented working, to test their ideas at international level and to supply them with practical experience.*

*Besides the needed mechanical design and the combustive powertrain, the car's electronics play a major role, considering the ever-increasing demands for performance. Because race cars in general have to be trimmed for maximum efficiency, this is also true for the vehicle's electronics. The weight of electrical components as well as their electrical losses have to be minimised while at the same time, their performance has to be optimised.*

*Furthermore an on-board data logger reads several installed sensors, thus providing valuable information regarding the car's behaviour on the track as well as clues for improvements for the subsequent seasons.*

Ansprechpartner

KÜRSAT AKYOL, DR.-ING. MATHIAS KÄBISCH (EVS)

Titel

**ELEKTRIFIZIERUNG EINES MERCEDES-BENZ  
300 SEL**

title

**ELECTRIFICATION OF A MERCEDES-BENZ  
300 SEL**

Der umgerüstete Mercedes-Benz 300SEL (Modellreihe W126)

*The modified Mercedes-Benz 300SEL (Model Series W126)*

Das Team (Kürsat Akyol, Alexander Wahlhäuser und Sergej Sas) mit dem aufgebauten elektrischen Fahrzeug

*The Team (Kürsat Akyol, Alexander Wahlhäuser und Sergej Sas) with the constructed electric car*

Die Umrüstung eines Personenkraftwagens mit einem herkömmlichen Otto-Motor auf einen Elektroantrieb war Ziel einer Projektarbeit dreier Studenten der Universität Kassel. Bei der Umstrukturierung der Bordsysteme mussten die Assistenz- und Zusatzsysteme (darunter ABS, elektrische Sitzverstellung und Servolenkung) zwingend erhalten und funktionstüchtig bleiben, um die Verkehrstauglichkeit und Sicherheit nicht zu beeinträchtigen. Um dies gewährleisten zu können, orientierten sich die Studenten an geltenden Regelungen und Gesetzen und wandten Grundkenntnisse der Physik und fortgeschrittene Kenntnisse der Elektrotechnik bei der Systemauslegung an.

Zunächst wurde eine 19,2 kWh Batterie bestehend aus 30 LiFePO<sub>4</sub> Zellen zusammengesetzt und in die Karosserie integriert. Ein passendes Battery-Management-System (BMS) und ein Ladegerät wurden ebenfalls spezifiziert und montiert. Zur Anpassung der Betriebsspannung und des Motor-Drehmoments mussten neben den erforderlichen Anpassungen der Antriebswellenverbindung auch konstruktive Modifikationen bei der einzusetzenden Asynchronmaschine durchgeführt werden. Zur Ansteuerung wurde ein Umrichter eingesetzt, welcher den Asynchronmotor mit einem Drehfeld ansteuert deren Sollwert-Vorgabe vom Fahrer über ein Fahrpedal getätigt wird. Neben dem erforderlichen Bordnetzwanandler wurde schließlich auch ein Kühlkreis dimensioniert und eingebaut.

*Within the context of a project thesis have three students from the University of Kassel worked on the electric conversion of a car with internal combustion engine. While restructuring the onboard systems, the assistance and additional systems (e.g., ABS, electric Seat adjustment and power steering) must remain functional so that the traffic suitability and safety are not affected. To guarantee this, the students have observed on valid regulations and laws and relied on advanced knowledge in physics and in electrical engineering.*

*Firstly a 19.2 kWh battery consisting of 30 LiFePO<sub>4</sub> cells has been assembled and integrated in the car body. A suitable BMS (Battery management system) and battery charger have also been specified and mounted. Due to necessary adaptation of the operating voltage and the torque constructive modifications had to be done with an available asynchronous machine, besides the necessary reworking in the connections with the drive shaft. The control of the motor was performed with an inverter regulating a rotating field whose set value was given by the driver through the gas pedal. Not least, the cooling systems has been construed and integrated, besides a necessary DC/DC converter for the onboard power supply.*

Ansprechpartner

DIPL.-ING. MANUEL GÜNTHER, DIPL.-ING. CHRISTIAN NÖDING (EVS)

Titel

## AUTOMATISIERTE HALBLEITERCHARAKTERISIERUNG IN EINER KOMMUTIERUNGSZELLE

title

## AUTOMATED CHARACTERIZATION OF SEMI-CONDUCTORS IN A COMMUTATION-CELL

Um unseren Mitarbeitern bei der Untersuchung von verschiedenen Halbleitertechnologien die größtmögliche Sicherheit bieten zu können wurde ein Vermessungsplatz entwickelt, der sowohl mechanischen Schutz bei ggf. Explosion von Bauteilen und einen Berührungsschutz der unter spannungsstehender Bauteile bietet.

Durch kontinuierliche Überarbeitung und Weiterentwicklung wurde eine Messeinrichtung entwickelt, die nach der Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG und der Europäischen Norm EN 61010-1:2001 alle Anforderungen an Sicherheit, Ergonomie und Zuverlässigkeit erfüllt. In dem Prüfstand können Bauteile mit einer Spannung bis zu 1,5 kV und einen Strom von über 30 A untersucht werden. Ein weiteres Augenmerk lag bei der Entwicklung auf der Kompaktheit des Messplatzes, das hierdurch keine Gefahren ausgehen.

To ensure security and safety for our employees during measurements for the investigation and research of semiconductor-technologies a measurement station has been developed that provides a maximum of mechanical protection in case of accidental explosion of components and electric shock protection.

Due to continuous updates and additional developments the measurement station fulfills the requirements of the low voltage directive 2006/95/EG and the European directive EN 61010-1:2001 for security, ergonomics and reliability. In the test bench, devices can be tested with DC voltages of up to 1.5 kV and currents above 30A. The target is to achieve an efficient, compact and high-power test site with a minimum of risk and danger.



Schaltzelle Prüfstand

Switching cell test-bench

Durch die eigene Entwicklung und Erfahrung ist der Prüfstand soweit ausgereift, dass dieser von anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie erworben werden kann. Der Prüfstand kann hierbei an spezielle Kundenanforderungen angepasst werden. Auf Wunsch kann ferner eine CE-Zertifizierung erfolgen.

Zur Ermittlung der Halbleitereigenschaften wurde ein umfangreiches Softwarepaket entwickelt. Hierbei kann die entwickelte Software nicht nur die Schaltenergien und Spannungsabfälle darstellen. Ebenso kann das Softwarepaket auch weiter Parameter ermitteln, um so die Performance abbilden zu können. Durch die Ergebnisse des Softwarepakets können die dynamischen Eigenschaften eines Halbleiters modelliert werden. Somit ist ein Vergleich von verschiedenen Technologien wissenschaftlich möglich.



Benutzeroberfläche der Automatisierung: Einstellung der Schaltversuchen

User interface of the automation: configuration of the switching tests

By means of internal developments and experience, the test bench was technically perfected. Thereby a custom-changed base version can be offered on demand, so that the special requirements of interested parties can be fulfilled. Additionally a CE-certification can be provided.

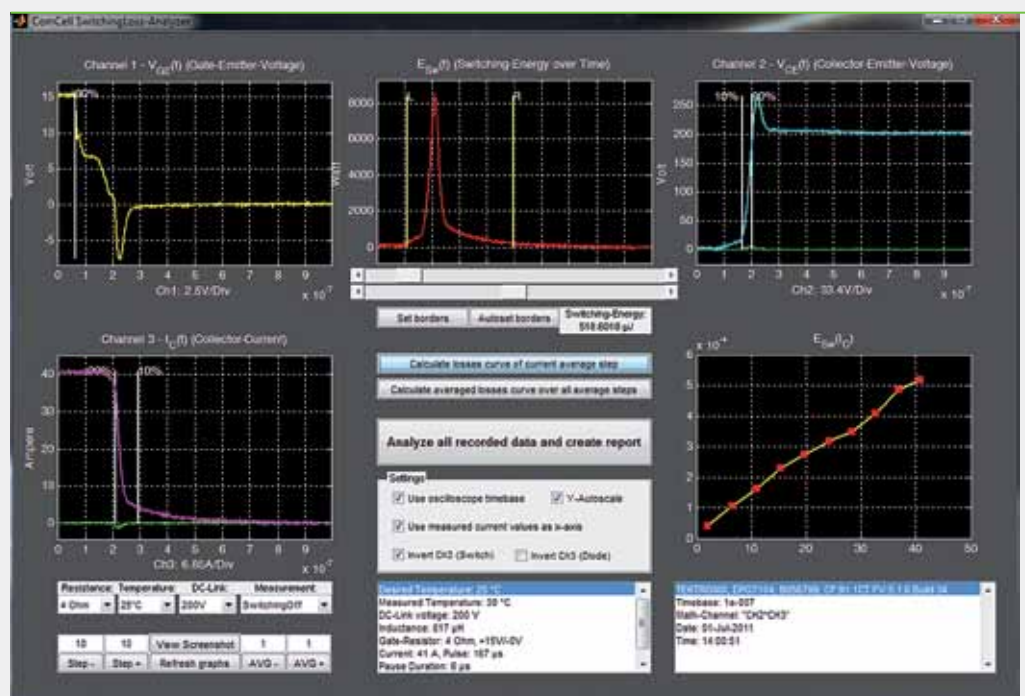
Next to the hardware a software-toolset has been developed which enables measuring parameters of semiconductors in an automated fashion. Here, both dynamic and static performance of semiconductor devices can be extensively investigated in a time efficient way, enabling the comparison of different technologies.



Neben den bei jedem Schaltvorgang anfallenden Schaltenergien bestimmt die Anstiegs- und Abfallzeit von Strom und Spannung die Schalteigenschaften. Zusätzlich können über die maximalen Anstiegs- und Abfallzeiten Rückschlüsse auf die elektromagnetische Verträglichkeit des Bauteils getroffen werden. Weiterhin lässt sich über die gemessene Überspannung beim Abschalten eine Abschätzung der parasitären Induktivität vornehmen, sodass auch über den physikalischen Aufbau des Halbleiters selbst eine Bewertung vorgenommen werden kann. Bei Dioden bestimmen zudem die Reverse-Recovery-Ladungen und -Zeiten das Bauteilverhalten.

Alle genannten Parameter lassen sich in der neuen Version der Messsoftware nun vollständig automatisiert in einem einzelnen Messdurchgang erfassen, auswerten und in einem interaktiven Protokoll speichern. Dabei werden Bauteilstrom, Sperrspannung und Gatewiderstand als Sweep-Parameter automatisiert in einem vorgegebenen Bereich durchfahren. Die Software kompensiert bei der Auswertung zudem Oszillationen und berücksichtigt bei der Berechnung der einzelnen Parameter Gate-Emitter-Spannung, Kollektor-Emitter-Spannung und Kollektor-Strom gleichzeitig. Die Erstellung eines eigenen Datenblattes ist somit, je nach Auflösung, bereits innerhalb weniger Stunden abgeschlossen.

Next to the switching-energies the rising- and falling-time of current and voltage determine the performance of switching. Additionally the maximum rising- and falling-time can provide information about the electromagnetic compatibility of the component itself. Furthermore an estimation of the parasitic inductance is possible by measuring the overvoltage during the switch-off, so that the physical construction of the semiconductor can be evaluated. For diodes the reverse-recovery-charge and –time is important for the component-behavior.



Benutzeroberfläche der Automatisierung: Interaktive Bewertung der Messergebnisse

User interface of the automation: interactive evaluation of measurement results

All parameters can be recorded and analyzed in one single measurement-sequence and will be stored in an interactive protocol. Therefore the device-current, blocking-voltage and gate-resistance can be used as sweep-parameters. During the analysis the software compensates oscillations and considers the measured curves for gate-emitter-voltage, collector-emitter-voltage and collector-current together. The generation of an own datasheet can now be finished within a few hours.



Ansprechpartner  
M.SC. MARITA WENDT (EVS)

Titel  
**UNTERSUCHUNG UND MODELLIERUNG  
DER VERLUSTLEISTUNGEN IN eGaN™ FETs**

Gegenwärtig erfahren GaN-basierte Leistungshalbleiter eine rasante Entwicklung. Eine vorteilhafte Zusammensetzung chemisch-physikalischer Eigenschaften von Galliumnitrid (GaN) öffnet diesem Material weite Perspektiven zu dessen Einsätzen in der Leistungselektronik. Schnelles Schalten und eine Erhöhung der Schaltfrequenzen, was zur Größen- und Gewichts-Reduzierung führt, ermöglicht ein äußerst interessantes Spektrum an Anwendungen für GaN-Halbleiter.

Überall dort, wo es um die Optimierung der Größe, des Gewichts oder Verlustwärmeerzeugung geht, wird GaN eine Option sein. Als Beispiel sind folgende Applikationen zu nennen:

- Integrierte Mikro-Inverter in der Photovoltaik
- Dashboard-Versorgung, Beleuchtung oder Hilfsantriebe in den automobilen Anwendungen
- Kompakte LED-Beleuchtungstechnik
- Dezentrale Gleichstromnetze in Bürogebäuden

Wo die Grenzen für die Schaltfrequenzen und damit für die Verringerung der Größen liegen, untersucht das KDEE durch die Ermittlung und Modellierung der Verlustleistungen in den eGaN-FETs (200V Sperrspannung) sowie die geeigneten magnetischen Bauelemente. Es werden dabei unterschiedliche Kernmaterialien untersucht, die sich für ein hochfrequentes effizientes Schalten besonders gut eignen.

title  
**INVESTIGATION AND MODELLING OF  
eGaN™ FETs LOSSES**

Currently, GaN-based power semiconductors undergo a rapid development. The advantageous composition of the chemical and physical properties of Gallium-Nitride (GaN) opens wide prospects for this material to its utilisation in power electronics. Fast switching and an increase in switching frequencies, which leads to a reduction in size and weight, allows an extremely interesting range of applications for GaN semiconductors.

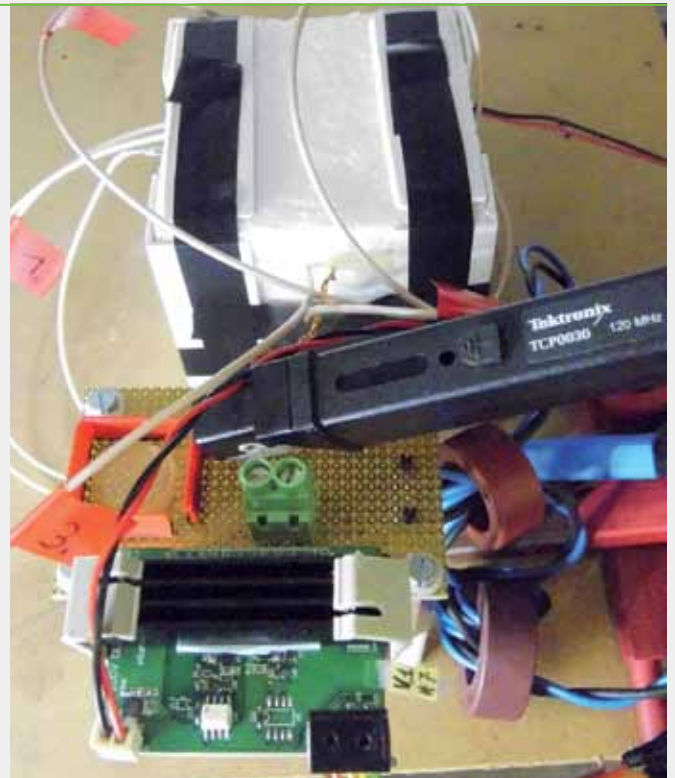
Wherever optimizing the size, weight or heat generation is of importance, GaN will be an option. The following applications are examples thereof:

- Integrated micro-inverters in photovoltaics
- Dashboard supply, lighting or auxiliary drives in automotive applications
- Compact LED lighting technology
- Distributed DC networks in office buildings

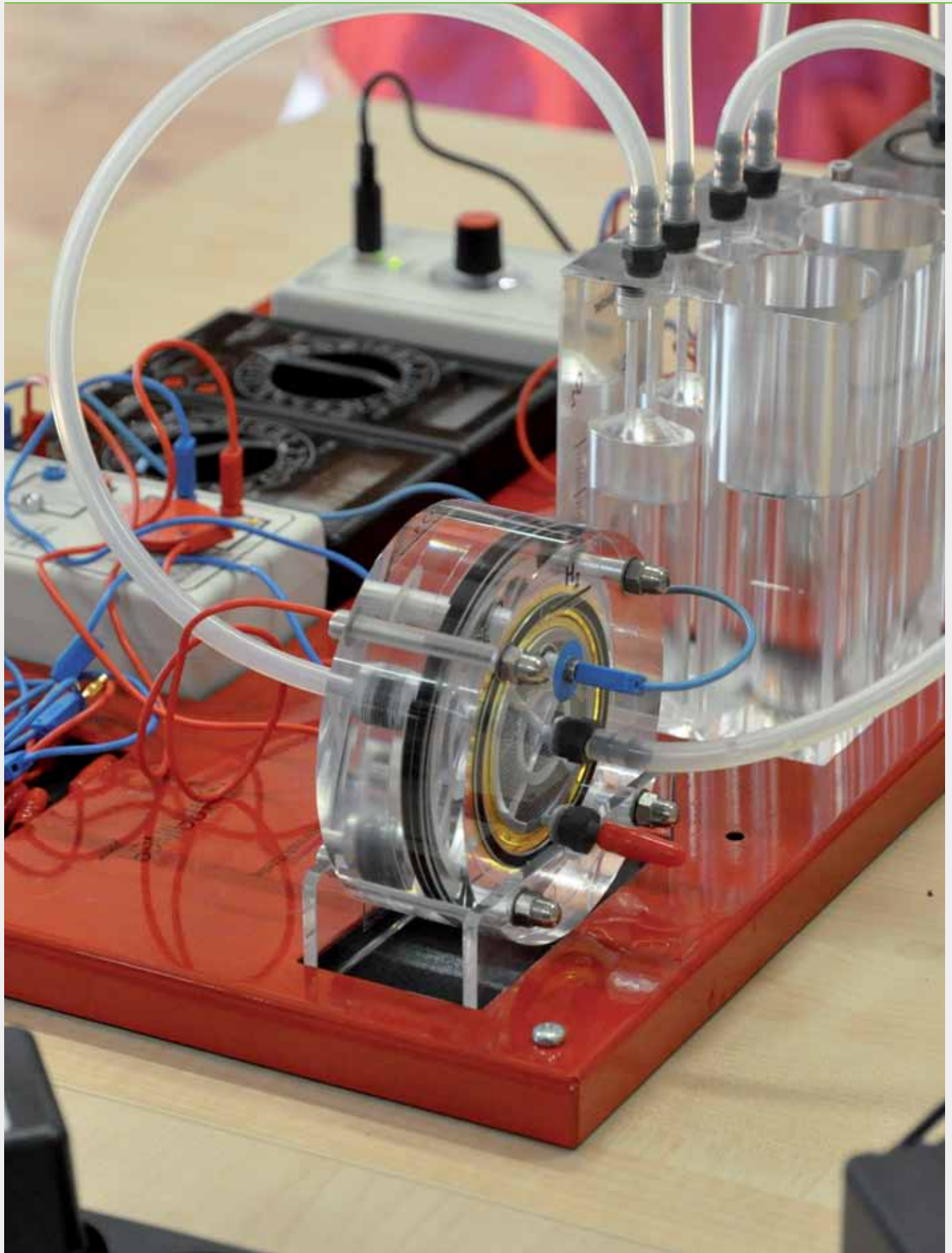
We investigate the limits for the switching frequencies and thus for the reduction in size by identifying and modelling of the power losses in the eGaN FETs (200V blocking voltage) as well as in the magnetic components. Different core materials are investigated, said to be particularly well suited for high-frequency and efficient switching.



Der Größenvergleich von einem eGaN-FET mit einer Eineurocent-Münze.  
Size comparison of an eGaN FET with a One Eurocent coin.



Der Messaufbau für die Ermittlung der Verlustleistungen.  
Test setup to determine the power losses.





Ansprechpartner

DR.-ING. MEHMET KAZANBAS (EVS)

Titel

## HIGH-SIDE ANSTEUERUNG UNTER HOHEN SCHALTGESCHWINDIGKEITEN: TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN UND TESTMETHODEN

title

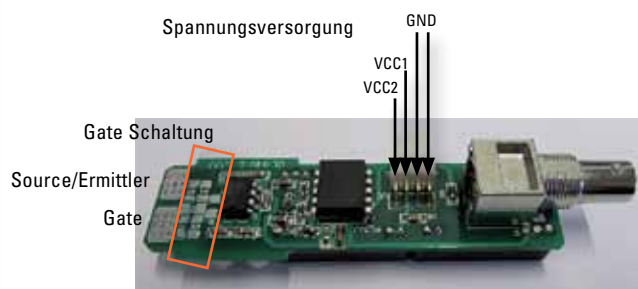
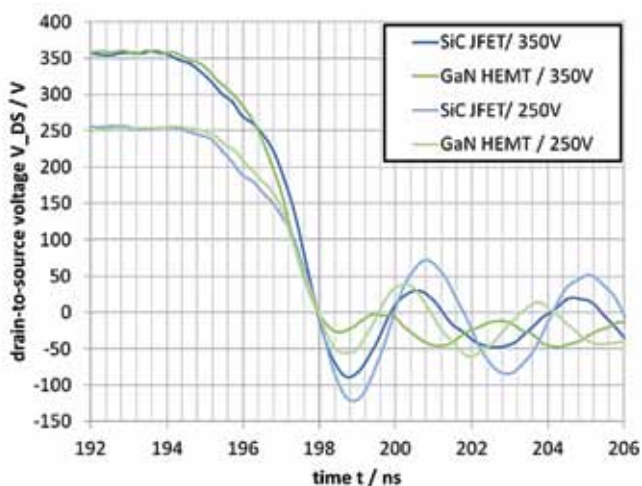
## HIGH SIDE DRIVING UNDER HIGH-SWITCHING SPEEDS: TECHNICAL CHALLENGES AND TESTING METHODS

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Umwandlungseffizienz der kommerziellen leitungselektronischen Umrichter auf bis zu 99 % erhöht. Weitere Design-Trends konzentrieren sich zurzeit auf höhere Kompaktheit und geringere spezifische Kosten, ohne dabei die Wirkungsgrade zu opfern. Das Erreichen dieser Ziele erfordert die Verringerung der Schaltenergie durch hohe Schaltgeschwindigkeiten.

Leistungshalbleiter-Technologien wie SiC und GaN sind bereits in der Lage Spannungsflanken höher als 150 kV/us zu erreichen. Auf der anderen Seite sind kommerzielle Gate-Treiber nicht geeignet für solche hohen dV/dt, weil sowohl die Signalisolation als auch die Versorgungsisolation auf Basis entsprechend von Hochfrequenz-Transformatoren oder Bootstraps bis zu 100 V/ns ausgelegt sind. Im Rahmen dieses Projekts werden zunächst bestehende Verifikationsmethoden und Normen für Gate Treiber Komponenten untersucht. Im Zuge dessen werden neue Tests und Validierungsmethoden mit Berücksichtigung von realen Applikationsbedingungen vorgeschlagen. Abschließend sollen durch mehrere Messungen sowohl der Prüfstand validiert als auch ausgewählte Treibertechologien verglichen werden.

*During recent decades, the efficiency of commercial power electronics inverters has been increasing up to a physical level of 99 %. Further design trends shall focus on higher compactness and lower specific cost without sacrificing the efficiency levels. Achieving such goals requires reducing the switching energy obtained by high switching speeds.*

*Power semiconductor technologies such as SiC and GaN are already capable of switching levels higher than 150 V/ns. On the other hand, commercial gate drivers are not suited for such high levels dV/dt because of signal insulation specified up to 100 V/ns as well as supply insulation based either on bootstraps or high-frequency transformers. Within the scope of this project, existing verification methods/standards for driver capabilities and their limitations will firstly be investigated. In order to address such issues, new testing and validation approaches for high-side driver isolation considering real application conditions will be proposed. Besides the experimental validation of the test-bench, selected existing gate driver devices and systems will be benchmarked.*



Schaltvorgänge verschiedener innovativer Halbleiter  
Switching transients of the different innovative semiconductors

Gate-Treiber für High-Side Gate-Ansteuerung  
Gate-driver for High-Side Gate Driving



Gefördert durch: ECPE

Ansprechpartner

DIPL.-ING. THIEMO KLEEB, DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE (EVS)

Titel

## CHARAKTERISIERUNG UND VERLUST- MESSUNG MAGNETISCHER MATERIALIEN UND WICKELGÜTER

title

## CHARACTERIZATION AND LOSS MEASUREMENT OF MAGNETIC MATERIALS AND WIRES

In vielen leistungselektronischen Wandlern sind magnetische Bauelemente obligatorisch. Daher ist die Optimierung der magnetischen Bauelemente ein entscheidender Schritt, um auch höhere Konverter-Wirkungsgrade zu erreichen. Für die Auslegung und Optimierung werden daher realitätsnahe Modelle, basierend auf Messungen, benötigt, um eine genaue Berechnung der Impedanzen und der Verluste zu ermöglichen.

*Magnetic components are mandatory in many power electronic converters. Hence the optimization of magnetic components is an important objective to enable high converter efficiency values. Thus realistic models based on measurements are necessary in order to allow an accurate calculation of the impedance and losses.*



Kalorimeter mit Prüfling (links), Prüfstand für Wickelgüter (rechts)

*Calorimeter with device under test (left), Measurement setup for Litz Wires (right)*



Da leistungselektronische Wandler i.d.R. mit hochfrequenten Rechteckspannungen arbeiten, können die Verluste der einzelnen Komponenten oftmals nicht mit elektrischen Verfahren bestimmt werden. Daher hat das KDEE für die Verlustmessung von Drosseln ein spezielles Kalorimeter entwickelt, das die Prüflinge unter realistischen Applikations-Bedingungen messen kann. Da das Kalorimeter nach dem Kompensations-Prinzip arbeitet, hängt die Mess-Zeit nur von der thermischen Zeitkonstante des Prüflings ab und ist damit im Vergleich zu anderen kalorimetrischen Verfahren sehr kurz.

*Due to the fact that power electronic converters are usually driven by high frequency rectangular voltages, it is not possible to evaluate the losses of single components by electric measurements in this case. Therefore KDEE developed a special calorimetric setup for the loss measurement of chokes under realistic application conditions. The calorimeter is operated with the compensation principle. Therefore the measurement period is only dependent on the thermal time constant of the device under test, enabling very quick measurements compared to other calorimetric methods.*

Zur Charakterisierung von Hochfrequenz-Litzen hat das KDEE zwei Prüfstände entwickelt, um die frequenzabhängige Impedanz-Erhöhung durch den Skin-Effekt und den Proximity-Effekt zu bestimmen. Durch parasitäre Effekte sind die Impedanzen von Litzen oft höher als unter idealen Bedingungen berechnet. Die messtechnische Charakterisierung der Impedanzen von realen Wickelgütern erlaubt eine Verbesserung der Berechnungsmodelle und dadurch eine genauere Verlustleistungsberechnung der Wickelgüter. Durch eine genaue Modellierung der Wicklung lassen sich sogar die Kernverluste eines Prüflings kalorimetrisch bestimmen.

*For the characterization of high frequency litz wires KDEE developed two measurement setups to evaluate the frequency dependent impedance increase caused by the skin and the proximity effect. Due to parasitic effects the real impedance of litz wires is usually higher than calculated in the ideal case. The characterization of the litz wires by measurements enables the improvement of the calculation models and therefore allows a more accurate loss calculation of the wires. An accurate model of the wire even enables the evaluation of core losses of devices under test by calorimetric methods.*



Ansprechpartner  
DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE (EVS)

Titel  
**STEUERBARE TRANSFORMATOREN UND  
DROSSELN**

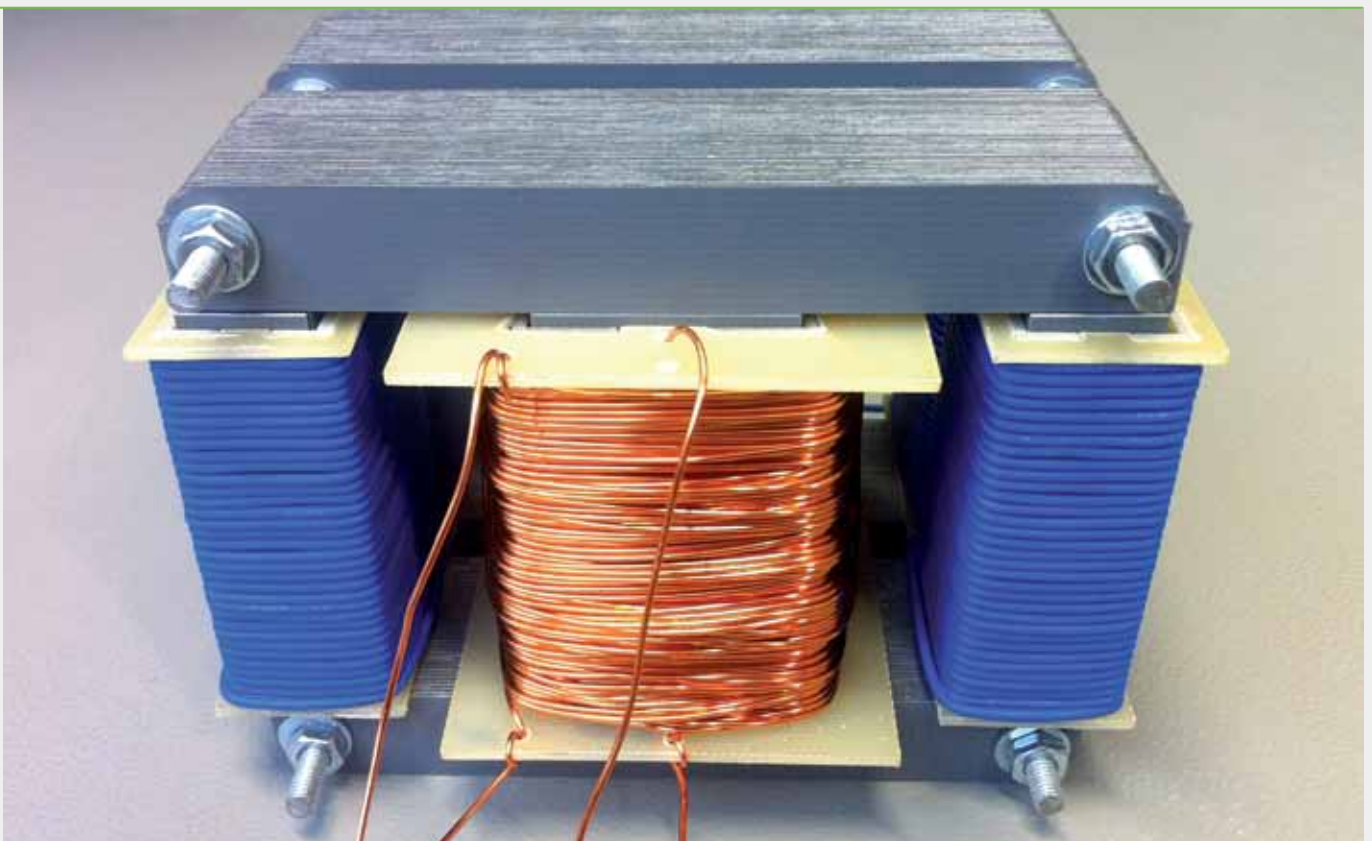
title  
**CONTROLLABLE TRANSFORMERS AND  
CHOKES**

Durch den kontinuierlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien kommen auf das Verteil- und Versorgungsnetz neue Problemstellungen zu. Die steigende Einspeisung von elektrischer Leistung im Verteilnetz bedeutet ein Anstieg der Spannung. Weiterhin zieht dies ebenso eine stärkere Spannungsschwankung mit sich, die durch bspw. Windänderungen bei Windkraftanlagen oder Verschattungen bei Photovoltaikanlagen verursacht wird. Hierdurch kann je nach Netzgegebenheiten das Spannungsband verletzt werden, weshalb keine weiteren Erneuerbaren Energien integriert werden können, bzw. bedarf es eines teuren Netzausbaus.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, magnetische Stellglieder zu entwickeln, die diese Spannungsschwankungen und Spannungserhöhungen kompensieren. Hierbei liegt der Vorteil von magnetischen Bauelementen in der Robustheit und Langlebigkeit, wodurch Lebensdauern von über 30 Jahren erreicht werden. Es wird nur ein Minimum an Elektronik zur Regelung und Steuerung dieser Stellglieder benötigt. Die Kompensation von Blindleistung kann ebenso durch diese Ansätze erfolgen, die das Übertragungsnetz weiterhin entlasteten. Somit kann die installierbare Leistung Regenerativer Energien und die Spannungsqualität mit minimalen Investitionen gesteigert werden.

*Due to the continuous expansion of renewable energy source occur there are several emerging issues on the distribution and supply network. The increasing generation in the distribution networks may lead to an increase in the voltage. Higher transient voltage swings might also be observed in connection with changes in the wind level for wind turbines or shadows over photovoltaic systems. Depending on the affected network properties, the voltage band might be violated what will possibly limit the integration of further renewable energy.*

*The aim of this work is to develop magnetic control elements that compensate these voltage fluctuations and increases. Here, the advantage of magnetic components lies in the robustness and durability, making lives of over 30 years achievable since only a minimum of electronic components for regulation and control is required. The compensation of reactive power can be performed by these methods as well, further relieving the distribution and supply networks. As a conclusion, the installable level of regenerative energy sources and power quality can be increased with minimal investment.*



Steuerbare Induktivität  
*Controllable inductance*

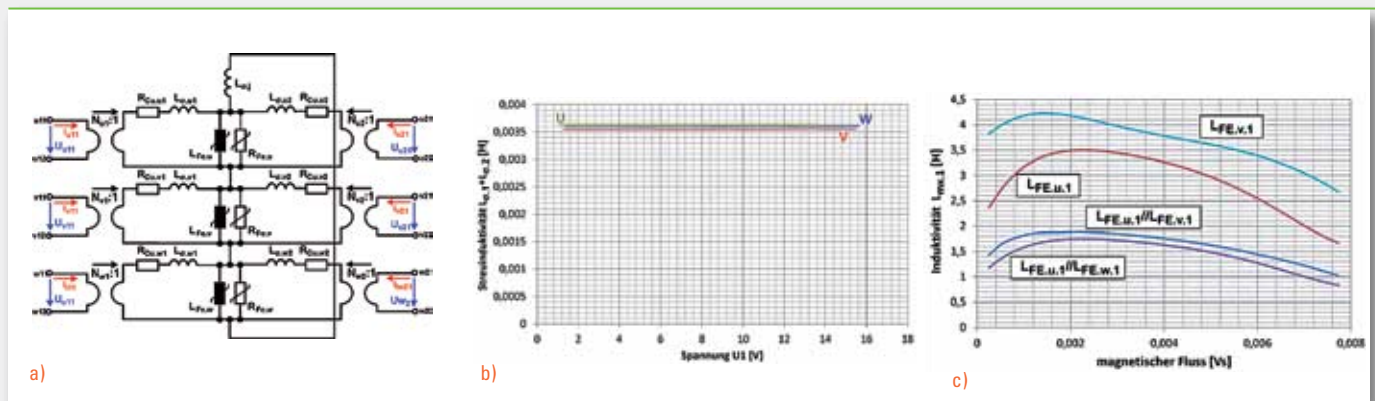
Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS, DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE (EVS)

Titel

**MODELLIERUNG NICHTLINEARER MAGNETISCHER BAUELEMENTE IN WANDLERN**

title

**MODELING OF NONLINEAR MAGNETIC COMPONENTS IN CONVERTERS**

a) Ersatzschaltbild eines 3-phasigen 3-Schenkeltransformators,

b) messtechnisch ermittelte Abhängigkeit der Streuinduktivität pro Phase bei Belastung im KS-Versuch

c) messtechnisch ermittelte Anhängigkeit der effektiven Induktivität der Phasenwicklungen bei veränderter Magnetisierung

a) equivalent circuit of a three-phase transformer

b) measurement dependence of the leakage inductance per phase when loaded in the SC-test

c) measurement dependence of the inductance effective of the windings in a range of magnetization flux

Induktive Bauelemente gehören bei richtiger Dimensionierung zu den langlebigsten und robustesten Bauelementen der Leistungselektronik. In den Anfängen der Leistungselektronik spielte die Nutzung magnetischer Effekte mangels guter gesteuerter Schaltelemente eine bedeutende Rolle, die heute fast vergessen sind und nur noch in Spezialfällen genutzt werden. Drosseln und Transformatoren scheinen die einzigen übrig gebliebenen Bauelemente auf diesem Gebiet zu sein. Mit der Integration erneuerbarer Energiequellen stellen sich einige Fragen wegen der vergleichsweise extrem hohen Erwartungen an Zuverlässigkeit, Robustheit und Lebensdauer bei gleichzeitig möglichen neuartigen Kombinationen von neuen Halbleitern und neuen magnetischen Werkstoffen ein. Diese Fragen zu präzisieren und zu beantworten wurde durch intern finanzierte Projekte und in Kombination mit anderen Projekten vorangetrieben.

2010 wurde daher auch die Lehrveranstaltung „Magnetische Bauelemente“ als Wahlpflichtveranstaltung in das Lehrprogramm der Vertiefung Energietechnik des Fachbereichs aufgenommen. Wie das Projekt AINS zeigte, sind die elektrischen Stellglieder im Verteilnetz letztlich immer gekoppelt mit induktiven Elementen, die in den Bereichen Schwachlast und Überlast stark nichtlineare Eigenschaften aufweisen (siehe Bild). Der Modellierung der nichtlinearen Eigenschaften und deren Nutzung wird daher zusätzlich in entsprechend koordinierten internen Projekten hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Ziele sind neben der möglichst genauen Modellierung von Verlusten in Wicklungen und Kern auch die Abbildung der nichtlinearen Eigenschaften und die Nutzung der nichtlinearen Eigenschaften für die Steuerung von Drosseln und Transformatoren im Nieder- und Hochfrequenzbereich.

*The correct design of the inductive devices in power electronics makes the system more durable and robust. In the early days of power electronics, the use of magnetic effects due to lack of well controlled switching elements played a significant role. Nowadays much of this knowledge is either forgotten or only used in special cases, as inductors and transformers appear to be the only remaining main elements in this area. With the integration of renewable energy sources, some new issues arise due to the comparatively high expectations for reliability, robustness and durability while at the same time possible combinations of new semiconductors and new magnetic materials need to be observed. To elucidate and to answer these questions, an internally funded project in combination with other projects has been promoted.*

*In 2010, the course “Magnetic components” was included in the teaching program of the department as optional class. As shown in the project AINS, electrical actuators used in the distribution network have in low-load and overload conditions strongly nonlinear properties (see Image). The modeling of these nonlinear properties and their use take a significant attention in internal projects, focusing not only on the possibility of winding and core losses modelling but also on mapping the non-linear characteristics and their possible use for the control of inductors and transformers in the low and high frequency range.*

Ansprechpartner

DIPL.-ING. CONG SHEN, PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN (e<sup>2</sup>n)

Titel

**NETZWIEDERAUFBAU**

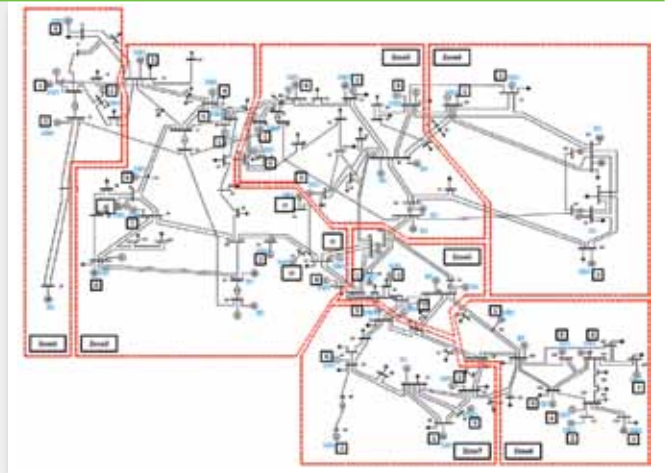
title

**POWER SYSTEM BLACK START**

Mit der Entwicklung der modernen Gesellschaft ist die Versorgungssicherheit eine der wichtigsten Fragen für die heutigen Netzbetreiber geworden. Der Ausfall eines Energieversorgungssystems hätte schwerwiegende Folgen, wie die Lähmung des sozialen Lebens und den Zusammenbruch der Industrie. Ein effizienter Plan für Netzwiederaufbau ist daher von größter Bedeutung für die Minimierung der Auswirkungen, die ein solcher Versorgungsausfall mit sich bringt. Zurzeit werden die Verteilungsnetze durch die Integration von erneuerbaren Energien bereits aktiver gestaltet, wodurch der Wiederherstellungsprozess im Übertragungsnetz unterstützt werden kann. Vor diesem Hintergrund können neue Algorithmen zum dezentralen Netzwiederaufbau entwickelt werden.

**Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten umfassen:**

- Optimierung der Netzuntergliederung und Netzkonfiguration
- Modellierung von Generator-Anlauf-Sequenzen
- Optimierung der Lastwiederherstellung unter Berücksichtigung der kalten Lastaufschaltung
- Entwicklung eines auf dezentralen Erzeugern basierenden Netzwiederaufbaus



Optimized grid partitioning for zonal network restoration

With the development of the modern societies, power supply reliability became one of the most important issues for today's network operators. A power system blackout can cause serious consequences such as paralysis of social life and industry collapse. An efficient power system restoration plan is of utmost importance for reducing the economic impacts. At present, distribution grids become more active due to integration of large scales of distributed generators which can support the restoration process in transmission network. Based on this background, novel bottom-up restoration algorithms can be developed.

**The research and development activities comprise:**

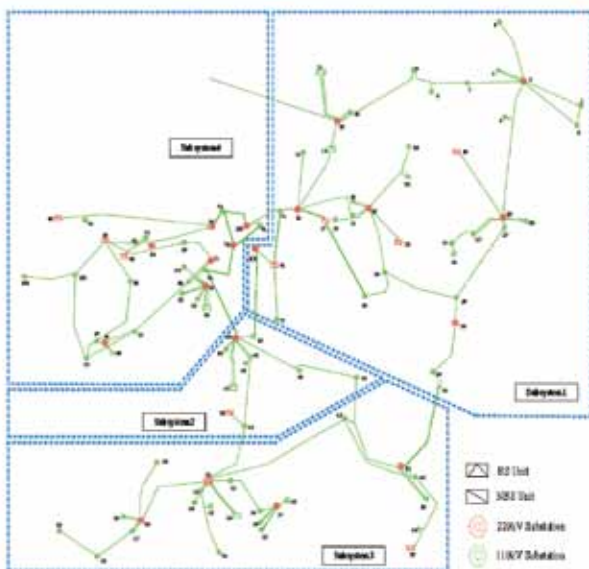
- Optimization of grid partitioning and network configuration
- Modeling of generator start-up sequence procedure
- Optimization of load restoration by considering cold load
- Establishing bottom-up power system restoration plans based on distributed generators

**Energy Management in Microgrid**

Microgrids are relative small size grid with clear electrical boundaries in which it includes loads and all kinds of distribution generations (DGs), such as combined heat and power plant (CHP), small size hydroelectric power plant, diesel generators, renewable energies, storage devices, etc. There are two operation modes for microgrids, namely grid-connected and islanding mode. In grid-connected mode, the main object of energy management is to maximize the usage of renewable energy and to minimize the fuel cost and power flow from the main grid. Furthermore, microgrids can provide some ancillary services, such as voltage control, load peak shaving to optimize the grid operation. In islanding mode, Microgrid should keep load serving by satisfying frequency and voltage constraints.

**The research and development activities comprise:**

- Optimization of microgrid operation
- Control strategies of microgrids
- Small signal analysis of microgrids
- Transient simulation of microgrids





Ansprechpartner

DIPL.-PHYS. ELISBETH DRAYER, DR. JAN HEGEMANN (e<sup>2</sup>n)

Titel

**DREAM – ERSCHLIESSUNG VON DEZENTRALEN ERNEUERBAREN ENERGIERESSOURCEN IM STROMNETZ**

title

**DREAM – DISTRIBUTED RENEWABLE RESOURCES EXPLOITATION IN ELECTRIC GRIDS****DREAM – Erschließung von dezentralen erneuerbaren Energieressourcen im Stromnetz durch eine innovative heterarchische Betriebsführung**

Das Projekt DREAM wird die Grundlage für ein neues heterarchisches Betriebsführungskonzept für elektrische Verteilnetze legen. Dabei werden neue Mechanismen für eine stabile und kosteneffiziente Integration von dezentralen erneuerbaren Energien bereitgestellt, sowie eine verbesserte Integration der Verbraucher für einen ökonomischen und ökologischen Energieverbrauch realisiert.

Zur Anwendung kommt das Prinzip von autonomen Multi-Agenten-Systemen für die Überwachung und den Betrieb des elektrischen Verteilungsnetzes. Es wird dem System erlauben, sich permanent an die aktuellen Betriebsbedingungen anzupassen und es robust gegenüber externen Störungen machen. Dies wiederum wird eine höhere Durchdringung von fluktuierenden Erzeugern wie PV und Wind im Verteilungsnetz erlauben und das Netz belastbarer gegenüber Fehler machen.

DREAM wird aus mehreren Kontrollebenen bestehen, für normale, Notfall und Post-Notfall-Situationen, die jeweils mit unterschiedlichen Strategien gelöst werden. Diese reichen von markt-basierten Verhandlungen bis zu Notfallanpassungen und beziehen die Möglichkeit mit ein, situationsbedingt durch den Zusammenschluss von mehreren Agenten die Kontrollhierarchie den gegenwärtigen Anforderungen anzupassen.

DREAM wird die ökonomische und technische Machbarkeit eines solchen neuen Betriebsführungskonzeptes an Hand von mehreren Feldtests und Szenarien demonstrieren, während weitreichende Simulationen zur Beantwortung darüber hinausgehender Fragestellungen durchgeführt werden.

**DREAM – Distributed Renewable resources Exploitation in electric grids through Advanced heterarchical Management**

*The DREAM project will lay the foundations for a novel heterarchical management approach of complex electrical power grids, providing new mechanisms for stable and cost effective integration of distributed renewable energy sources, as well as for enhanced consumer involvement in economic and ecological electricity use.*

*Applying the principles of autonomous agent-based systems to the control and management of the electric distribution grid will allow the system to constantly adjust to current operational conditions and make it robust to exogenous disturbances. In turn, this will allow for greater penetration of intermittent resources and will make the distribution grid more resilient to failures. DREAM will include several layers of controls for normal, congested and post-contingency situations that will use different coordination strategies ranging from market-based transactions to emergency demand response and create ad-hoc federations of agents that will flexibly adjust their hierarchy to current needs.*

*DREAM will demonstrate the economic and technical feasibility of these novel control mechanisms thanks to several real-world small-scale pilots dedicated to different use-cases, and computer simulations will be used to study further scalability.*



**DREAM is a Collaborative Project funded by the European Commission under FP7 grant agreement 609359**

Ansprechpartner

M.SC. JAN-HENDRIK MENKE, M.SC. DIRK FETZER, DR. JAN HEGEMANN (e<sup>2</sup>n)

Titel

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

title

**TEST AND SIMULATIONS ENVIRONMENT  
FOR OPERATIONAL MANAGEMENT AND  
AGGREGATORS IN SMART GRIDS**

Das Forschungsvorhaben „OpSim“ hat zum Ziel, eine Test- und Simulationsumgebung für Betriebsführungen und Aggregatoren im Smart Grid mit sehr hohem Anteil erneuerbarer Energien zu entwickeln. Dazu gehören virtuelle Kraftwerke, Verteilnetz-Betriebsführungen, Übertragungsnetz-Betriebsführungen und Energiemanagementsysteme von dezentralen Erzeugungsanlagen auf Basis von erneuerbaren Energien, Speichern, Elektrofahrzeugen sowie Lasten auf allen Spannungsebenen des Verteilungsnetzes.

Die OpSim Umgebung ist eine einmalige Einrichtung zur Entwicklung von Betriebsführungen und deren Test in einer realitätsnahen Umgebung. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit, verschiedene Betriebsführungen in ihrem Zusammenspiel mit erneuerbarer Energien zu analysieren und zu optimieren.

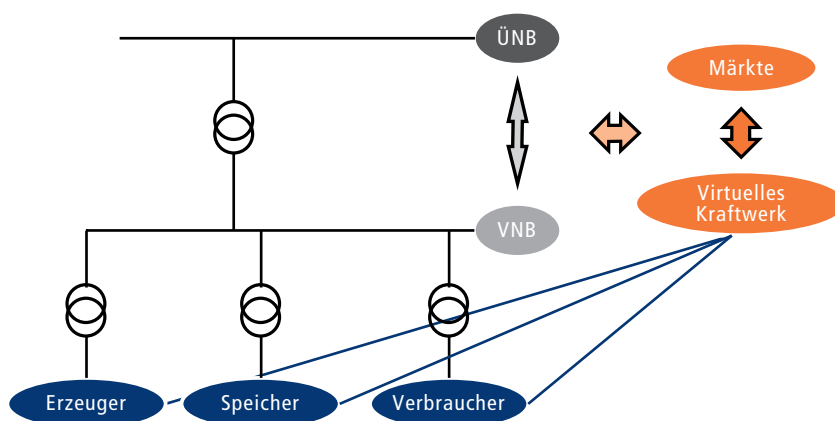
Die Simulationsumgebung wird innerhalb einer strategischen Partnerschaft zwischen dem Fachgebiet e<sup>2</sup>n und dem Fraunhofer IWES entwickelt. Das besondere Interesse des Fachgebiets e<sup>2</sup>n gilt dabei dem Aufbau einer echtzeitfähigen Netzsimulation als wichtiger Bestandteil einer verteilten Simulationsumgebung sowie der Entwicklung von echtzeitfähigen Schnittstellen zur Netzsimulation.

[www.opsim.net](http://www.opsim.net)

*The project OpSim aims at developing 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. This includes virtual power plants, distribution and transmission grid operation strategies, energy management systems as well as loads, electric vehicles and storage devices on all voltage levels.*

*The OpSim simulation environment will be a unique facility for the development and testing of power system operation concepts under realistic conditions. A distinct highlight is the possibility to analyze and optimize different power system operation concepts and their interaction with power systems that are characterized by a high penetration of renewable energy resources.*

*OpSim is being developed as part of a strategic partnership between the department e<sup>2</sup>n and Fraunhofer IWES. The main focus of the department e<sup>2</sup>n will be the implementation of a real-time network simulation platform as well as the development of real-time capable interfaces to the network simulation.*

[www.opsim.net](http://www.opsim.net)


Die Simulationsumgebung OpSim ermöglicht die Untersuchung von Wechselwirkungen verschiedener Betriebsführungen und Aggregatoren im Smart Grid.

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Projektpartner: Fraunhofer IWES**

**Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen 0325593B)**

Ansprechpartner

DR. STEFAN GEHLER (e<sup>2</sup>n)

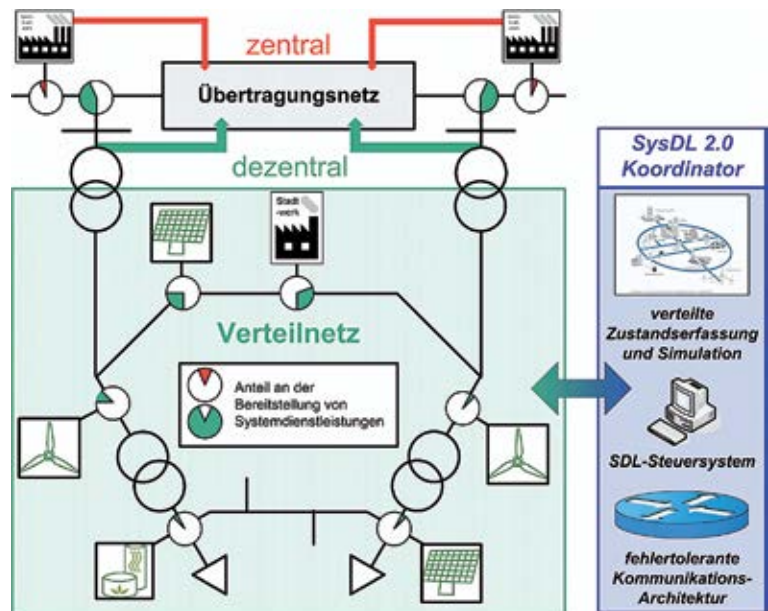
Titel

**SysDL 2.0: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN  
AUS FLÄCHENVERTEILNETZEN**

title

**SysDL 2.0: ANCILLARY SERVICES PROVISION  
BY DISTRIBUTION GRIDS**

Schwerpunkt des Vorhabens SysDL 2.0 ist die Entwicklung und Validierung einer systemtechnischen Grundlage für eine koordinierte Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch fremdbetriebene Energieanlagen im Verteilnetz für das Übertragungsnetz. Um das ambitionierte Ziel der Entwicklung neuartiger Betriebsführungsoptimierungen für dezentrale Systemdienstleistungen zu realisieren, bringt das Fachgebiet e<sup>2</sup>n seine Expertise mit Test- und Simulationsumgebungen für elektrische Netze, dezentrale Netzbetriebsführungen sowie der Entwicklung von Optimierungsalgorithmen ein.

Heutige und zukünftige  
SystemdienstleistungenUrheber:  
Stephanie Einspender,  
DREWAG NETZ

Zunächst wird das technische und ökonomische Potential der Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus dem Verteilnetz analysiert, wobei das Fachgebiet e<sup>2</sup>n für die Potentialanalyse auf Mittelspannungsebene verantwortlich ist. Der innovative Betriebsführungsalgorithmus zur koordinierten Bereitstellung von dezentralen Systemdienstleistungen wird schwerpunktmäßig am Fraunhofer IWES entwickelt. Das Fachgebiet e<sup>2</sup>n unterstützt dabei die Auswahl und Anpassung des verwendeten Optimierungsalgorithmus und entwickelt die für die Betriebsführung benötigte State-Estimation zur Erfassung des Zustands im Verteilnetz. Außerdem entwickelt das Fachgebiet e<sup>2</sup>n die für den Test der Verteilnetzbetriebsführung notwendige Übertragungsnetzbetriebsführung sowie die Kopplung zwischen beiden. Das so entwickelte Abbild des Gesamtsystems wird schließlich in einer Echtzeitsimulationsumgebung getestet. Der entwickelte und getestete Betriebsführungsalgorithmus wird im Fachgebiet e<sup>2</sup>n schließlich auf seine Übertragbarkeit auf andere Netzgebiete untersucht. Die dafür weiterentwickelte Methodik wird sowohl andere Netzgebiete als auch zukünftige Ausbauszenarien berücksichtigen, um die Auswirkung der optimierten Verteilnetzbetriebsführung auf die Verteilnetzplanung zu untersuchen.

*Focus of the project SysDL 2.0 is the creation of a technical basis within the electrical system for a coordinated provision of ancillary services by distributed generators in the distribution grid towards the transmission system as well as to validate this approach. In order to realize the ambitious goal of developing an innovative operational management optimization for distributed ancillary services, the department e<sup>2</sup>n contributes with its expertise in testing and simulation environments for electrical networks, decentralized network management and the development of optimization algorithms.*

*First, the technical and economic potential of the provision of ancillary services from the distribution network is analyzed, where the department e<sup>2</sup>n is responsible for the analysis of the potential at the medium voltage level. The innovative algorithm for a novel grid operation management for the coordinated deployment of ancillary services is developed mainly at the Fraunhofer IWES. The department e<sup>2</sup>n helps with the selection and adaptation of the optimization algorithm and also develops the required state estimation. It also develops operational management for the transmission grid level, which is necessary for the test of the novel operational management in the distribution grid as well as the coupling between them. The thus created model of the entire system is finally tested in a real-time simulation environment. The developed and tested management algorithm will eventually be tested by the department e<sup>2</sup>n with respect to its transferability to other power grids. This refined methodology will not only consider other existing power grids, but also future extension scenarios in order to study the effect of the optimized distribution management on the distribution network planning.*

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energieaufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Projektpartner: DREWAG NETZ,  
MITNETZ Strom, Thüringer Energie-  
netze, 50Hertz, Fraunhofer IWES, TU  
Dresden, SIEMENS, F&S Prozess-  
automation, DNV GL**  
**Gefördert durch: Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (Förder-  
kennzeichen: 0325744H)**



Ansprechpartner

M.SC. LEON THURNER, M.SC. GUSTAV LAMMERT, DR. STEFAN GEHLER (e<sup>2</sup>n)

Titel

**SMARTGRIDMODELS: MODELLE UND NETZ-  
ANALYSEN ZUKÜNFTIGER SMART GRIDS**

title

**SMARTGRIDMODELS: MODELS AND GRID  
ANALYSIS OF FUTURE SMART GRIDS**

Die derzeitige Entwicklung in der Energieversorgung offenbart eine schnelle Zunahme regelbarer dezentraler Erzeugeranlagen (Photovoltaik-, Kraft-Wärme-Kopplungs-, Biogasanlagen etc.), Verbraucheranlagen (Waschmaschine, Klimaanlage, Wärmepumpe etc.), stationärer Speichersysteme und Elektrofahrzeuge. Diese Entwicklung führt zu einem signifikant andersartigen Systemverhalten, das zunächst verstanden werden muss, um dann Vorschläge für geeignete Verbesserungen der üblichen Regeln und Verfahren zu treffen.

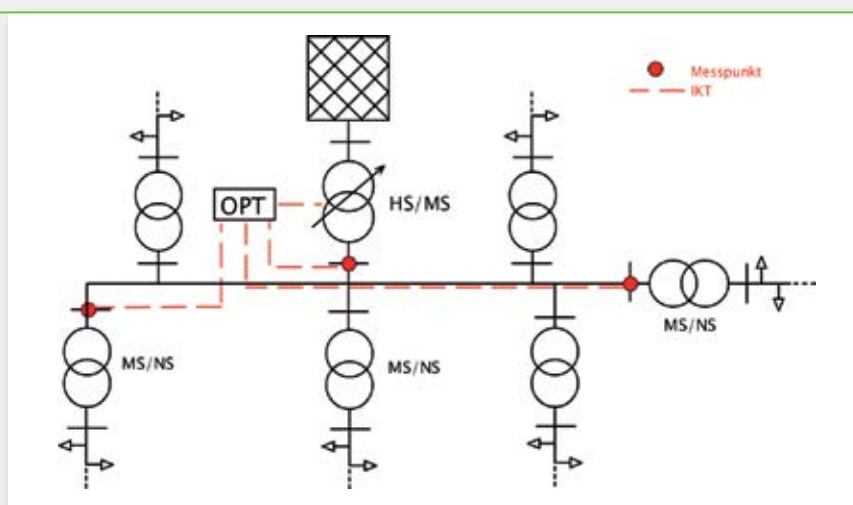
Im Vorhaben „SmartGridModels“ werden verschiedene Szenarien für zukünftige SmartGrids unter Betrachtung realer Verteilnetzabschnitte eines Netzbetreibers entwickelt und untersucht. Unter dem Oberbegriff SmartGrid wird hierbei sowohl ein aktiver Netzbetrieb wie auch ein strategischer Netzausbau verstanden, wobei insbesondere auf die Verknüpfung der beiden Aspekte eingegangen wird. Somit wird unter anderem der Frage nachgegangen, wie sich die Installation von neuartigen Betriebsführungen auf die klassischen Netzplanungsgrundsätze im Verteilnetz auswirkt und ob durch den Einsatz intelligenter Regler und Betriebsführungen kostspieliger Netzausbau vermieden werden kann.

Ein Beispiel für eine solche intelligente Regelung stellt die Weitbereichsregelung dar. Der Stufensteller zwischen Mittel- und Hochspannungsnetz wird dabei nicht, wie heute üblich, lokal geregelt, sondern erhält über Messstellen im Netz Informationen über den Zustand des unterlagerten Mittelspannungsnetzes. Im Rahmen des Projekts SmartGridModels werden Methoden entwickelt, um anhand der Netzstruktur systematisch zu analysieren ob die Installation solcher innovativen Betriebsführungen technisch und ökonomisch sinnvoll ist.

*The current development in electrical power supply shows a rapid increase of controllable distributed energy resources (PV systems, combined heat and power plants, biogas plants etc.), consumers (washing machines, air conditioner, heat pumps etc.), stationary battery systems and electrical vehicles. This development leads to significant change in the system behaviour, which has to be understood first in order to be able to propose suitable improvements to the traditional standards and techniques.*

*As part of the project “SmartGridModels” several scenarios for future smart grid will be developed which take real distribution system areas of a distribution system operator into account. The term “smart grid” represents active grid operation as well as strategic grid extension, while particularly the link between the two is investigated. For example, it is investigated how the installation of innovative grid operation systems influences the classical parameters of the grid planning process and if the deployment of intelligent controllers and grid operators can avoid costly grid extension.*

*An example for such an intelligent control is the so called wide-area-control that controls the tap changer between the high- and the low voltage grid. This is not done locally, like it is standard procedure today, but with the knowledge about the grid state collected at measurement points in the medium voltage grid. Methods to systematically analyse the grid structure and identify the technical and economic potential of the deployment of such innovative system operators are developed in the project SmartGridModels.*



Weitbereichsregelung

**Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
(Förderkennzeichen: 0325616)**

Gefördert durch:



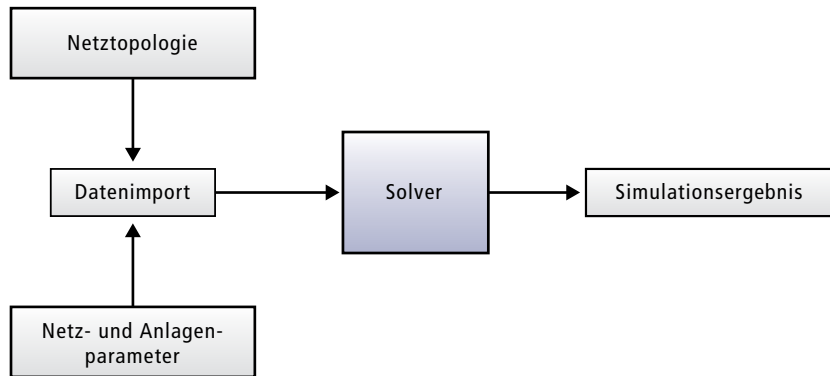
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ansprechpartner  
M.SC. DIRK FETZER (e<sup>2</sup>n)

Titel  
**PROMOTIONS-VORHABEN: BESCHLEUNIGUNG  
VON NETZSIMULATIONEN**

title  
**PHD PROJEKT: ACCELERATION OF POWER  
GRID SIMULATION**

Allgemeine Struktur einer  
Netzsimulation  
*General structure of a power grid  
simulation*



Aufgrund der zunehmenden Durchdringung des elektrischen Energieversorgungssystems mit dezentralen Energieerzeugern und intelligenten Lasten wird die Netzsimulation in ihrer Komplexität ansteigen. Mögliche Anwendungen für Netzsimulationen liegen im Bereich der Netzplanung, der Netzsicherheitsrechnung und bei neuartigen Betriebsführungskonzepten für Mittel- und Niederspannungsnetzen. Außerdem wird die Anzahl der zu berücksichtigenden Knoten stark ansteigen, was zu einer Erhöhung der benötigten Rechenzeiten führen wird.

Um dem entgegenzuwirken, wird an der Beschleunigung von Solvern zur Netzsimulation gearbeitet. Bei einer typischen Netzsimulation werden zunächst Daten importiert. Diese bestehen aus der Topologie des Energieversorgungssystems und den elektrischen sowie mechanischen Parametern des Netzes und der Anlagen. Die Daten werden dem Solver übergeben, welcher die Lösung des Simulationsproblems ermittelt.

In diesem Forschungsprojekt geht es darum, die im Solver verwendeten Algorithmen zu beschleunigen. Dazu wird zum einen an einer Verbesserung der mathematischen Struktur der Algorithmen gearbeitet. Zum anderen werden die numerischen Eigenschaften der zugrunde liegenden mathematischen Probleme analysiert und für Geschwindigkeitsvorteile ausgenutzt. Um die Simulation von hohen Knotenzahlen zu beschleunigen, werden außerdem Methoden des High Performance Computing, wie beispielsweise Multithreading, angewendet.

*The increasing penetration of the electrical energy system with decentralized renewable energy resources and intelligent loads will make network simulations more complex. Possible applications for network simulations lay in the area of network planning, security calculations and novel algorithms for power grid operation for medium and low voltage grids. In this context the number of network nodes will increase significantly, which will lead to an increase of the computational time.*

*To mitigate the increasing computational cost of future grid simulations, work is being conducted towards the acceleration of power system calculation solvers. During a typical grid simulation the first step is to import data which includes the network topology as well as grid and device parameters. The data is parsed to the solver, which calculates the solution of the simulation. The goal of this PhD project is to accelerate algorithms used by the solver.*

*Therefore, the algorithmic structure will be examined and altered for increased performance. Furthermore, the numerical properties of the underlying problem will be used for a more rapid calculation. To enhance the performance of simulations with a high number of nodes, methods of high performance computing, for example multithreading, can be exploited.*

Ansprechpartner  
M.SC. GUSTAV LAMMERT (e<sup>2</sup>n)

Titel  
**PROMOTIONS-VORHABEN: DYNAMIK UND STABILITÄT VON VERTEILUNGSNETZEN**

title  
**PHD PROJECT: DYNAMIC AND STABILITY OF DISTRIBUTION GRIDS**

Die elektrische Energieversorgung ist in einem grundlegenden Wandel. Immer mehr Erzeugungsanlagen werden im Verteilungsnetz installiert. Die Erhöhung der Durchdringungsrate von dezentralen Erzeugungsanlagen in den Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetzen hat zu neuen Anforderungen an diese Anlagen geführt, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Daher müssen dezentralen Erzeugungsanlagen wie konventionelle Kraftwerke Systemdienstleistungen erbringen.

In diesem Zusammenhang muss untersucht werden welche Systemdienstleistungen von dezentralen Erzeugungsanlagen in einem zukünftigen Verteilungsnetz erforderlich sind. Die Forschungsaktivitäten umfassen dabei Themen wie z. B. Verhalten von dezentralen Erzeugungsanlagen im Fehlerfall, Strategien zum Netzwiederaufbau, Analyse der Spannungs-, Frequenz- und Polradwinkelstabilität, Entwurf intelligenter Schutzkonzepte sowie Möglichkeiten zur Modellreduktion (Smart Grid Äquivalent).

*The electrical power system is undergoing fundamental changes. Nowadays more and more generators are connected to the distribution grid. The increasing penetration level of distributed generators in high, medium and low voltage grids has led to new requirements on these generators in order to ensure the security of supply. Hence, distributed generators have to provide ancillary services just as conventional power plants.*

*In this context research needs to be done to determine which ancillary services, provided by distributed generators, are required in a future distribution grid. The research activities include topics such as fault behavior of distributed generators, strategies of network restoration, analysis of voltage, frequency and rotor angle stability, development of smart protection systems as well as principles of model reduction (smart grid equivalent).*

Aktueller Stand der Technik (State of the Art)

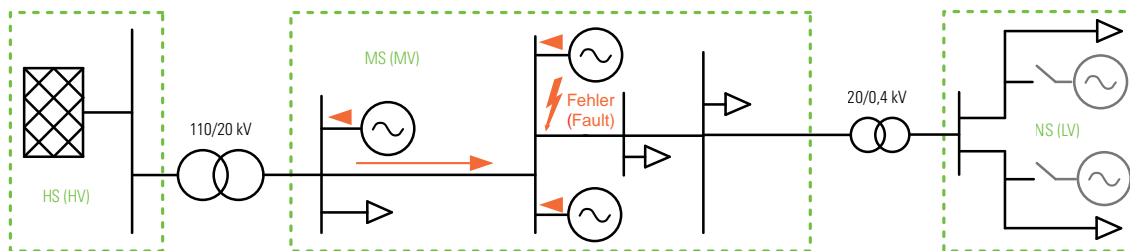


Abb. 1: Durch den auftretenden Fehler im Mittelspannungsnetz breitet sich ein Spannungstrichter im Verteilungsnetz aus. Nach dem aktuellen Stand der Technik müssen dezentrale Erzeugungsanlagen im Mittelspannungsnetz den Fehler durchfahren und einen Blindstrom zur Netzstützung einspeisen. Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz trennen sich aufgrund des Spannungseinbruchs.

*Fig.1: The Fault in the medium voltage grid causes a voltage drop in the distribution grid. According to the present state of the art distributed generators in the medium voltage grid have to ride-through the fault and feed in a reactive current to support the grid voltage. Distributed generators in the low voltage grid disconnect because of the voltage drop.*

Zukünftige Systemdienstleistung (Future Ancillary Service)

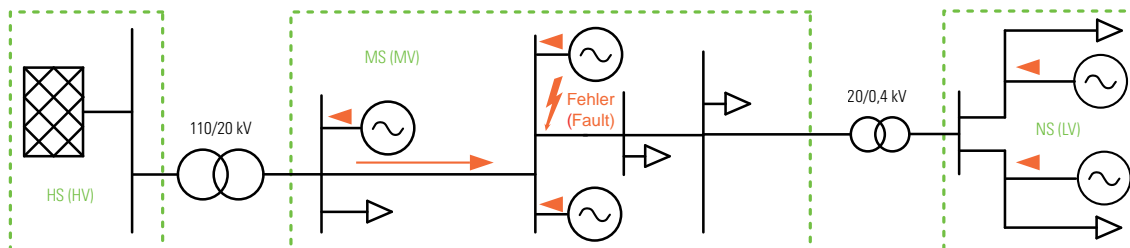


Abb. 2: Als zukünftige Systemdienstleistung kann von Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz ebenfalls eine dynamische Netzstützung gefordert werden. Diese müssen nun ebenfalls den Fehler durchfahren und einen definierten Strom zur Netzstützung einspeisen.

*Fig.2: As a future ancillary service distributed generators in the low voltage grid also take part in a dynamic grid support. These generators ride-through the fault and feed in a defined current to support the grid voltage.*





DR.-ING. SAMUEL ARAÚJO

title

**ON THE PERSPECTIVES OF WIDE-BAND GAP POWER DEVICES IN ELECTRONIC-BASED POWER CONVERSION FOR RENEWABLE SYSTEMS**

Samuel Araújo



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

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

**Tag der Disputation:** 18. Januar 2013

**Zusammenfassung**

Obwohl seit mehr als einem Jahrhundert bekannt, erhält der Einsatz von „Wide Band Gap“ (WBG) Materialien in der Leistungselektronik erst seit Kurzem stärkeren Aufschwung, angetrieben durch die hervorragenden Eigenschaften dieses Materials. Die erhöhte Durchschlagfestigkeit ermöglicht z.B. den Aufbau unipolarer Bauteile mit geringerem spezifischem Chip-Widerstand, welche vor allem reduzierte Durchlass- und Schaltverluste auch bei hohen Sperrspannungen ermöglichen.

Zurzeit findet die Markteinführung einer Vielzahl von Schalter-Technologien auf Basis von Silizium-Karbit (SiC) und Gallium-Nitrid (GaN) statt. Das Einsatzgebiet reicht von traditionellen FET-Strukturen mit MOS- oder PN-Übergang, bipolaren Bauelementen bis hin zu „High-electron mobility“ Transistoren (HEMT). Eine detaillierte Übersicht aus der Fachliteratur wurde in dieser Arbeit zusammen mit der Identifizierung von inhärenten Vorteilen und Einschränkungen der einzelnen Ausführungsmöglichkeiten vorgestellt. Ein Benchmarking ausgewählter Bauteile wurde schließlich auf Basis experimenteller Ergebnisse gegenüber dem Stand der Technik von Silizium-Bauelementen (Si) durchgeführt.

Hinsichtlich der Anwendung von „Wide Band Gap“-Bauelementen sind erneuerbare Energien in der Tat einer der vielversprechendsten Gebiete, besonders aufgrund ihrer hohen Leistungsanforderungen, schneller Marktexpansion und des hohen technischen Innovationsgrades. WBG-Bauelemente ermöglichen beispielsweise ein signifikantes Kostensenkungspotenzial durch geringeren Aufwand bei magnetischen Filtern und Kühlung, sowie höheren Wirkungsgraden. Diese und ähnliche Aspekte wurden in der vorliegenden Arbeit im Detail diskutiert, um auch mögliche Einschränkungen mit speziellem Fokus auf Photovoltaik und Windenergie-Systeme zu identifizieren.

**Summary**

*Although being known for more than a century, the application of wide band gap (WBG) materials have only recently gained momentum in the field of power electronics, driven by the increasing interest towards their outstanding material characteristics. The most important among is the high breakdown field. This allows the construction of unipolar devices with very low specific chip resistance mainly characterized by very low conduction and switching losses, even at high blocking voltages.*

*A multitude of switch technologies based on Silicon-Carbide (SiC) and Gallium-Nitride (GaN) is currently being commercially introduced by manufactures around the globe. The concepts are ranging from traditional FET structures driven by a MOS interface or a PN-Junction, bipolar devices and even high-electron mobility transistors (HEMT). A detailed revision of the scientific literature was performed in this work with the objective of providing a broad overview of possible approaches, along with inherent advantages and limitations. In addition to this, a benchmarking of several WBG-based devices technologies rated for 1200 V and 1700 V was done against their state-of-the-art Silicon-counterparts (Si).*

*Concerning the application of wide band gap devices, renewable energy systems are indeed one of the most promising fields given their high performance requirements, fast market expansion and high level of technical innovation. A significant cost reduction potential is for instance enabled by WBG devices due to smaller expenditure with magnetic filters and cooling, alongside higher efficiency levels. These aspects were discussed in details in order to identify constraints and bottlenecks at application level with special focus on photovoltaic and wind power systems.*

DR.-ING. MICHAEL HEEB

title

# ON THE PERSPECTIVES OF WIDE-BAND GAP POWER DEVICES IN ELECTRONIC-BASED POWER CONVERSION FOR RENEWABLE SYSTEMS

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

**Zweitgutachter:** Prof. Dr. sc. techn. Dirk Dahlhaus,  
Universität Kassel

**Tag der Disputation:** 11. April 2013



Michael Heeb

## Zusammenfassung

Die Arbeit setzt sich mit der Modellierung von Resonanzkreisen in IGBT-Hochleistungsmodulen auseinander, die sich durch die mehrfache Parallelschaltung von Leistungshalbleitern ergeben können. Im Blickpunkt stand die Prognose von Hochfrequenzschwingungen, deren elektromagnetische Ausbreitung die Umwelt stören kann und deshalb durch präventives Schaltungslayout vermieden werden soll.

Am Beispiel der PETT-Oszillationen wurden Methoden zur Vorhersage von Hochfrequenzschwingungen entwickelt und untersucht. Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Simulation der parasitären, passiven Leitelemente, die mittels unterschiedlichen Simulationsansätzen ermittelt wurden. Die Ergebnisse flossen in eine übergeordnete Schaltungssimulation ein, in der mitsamt den Halbleiterkapazitäten die Resonanzkreise nachgebildet wurden. Diese Vorgehensweise bedingte die Annahme eines linearen Netzwerkverhaltens, das in der Arbeit eingehend diskutiert wird. Der anschließenden Modellanalyse wurden ausführliche Messreihen mit zur PETT-Schwingung neigenden Modullayouts zugrunde gelegt. Die Vorhersagbarkeit von HF-Schwingungen konnte insofern verbessert werden, dass ein gangbarer Lösungsweg zur Bestimmung der Resonanzfrequenzen aufgezeigt wurde.

Neben der Modellierung der parasitären Resonanzkreise wurden die Schwingungsursache der PETT-Oszillationen und deren Verhalten näher untersucht. Hierbei wurden die komplexen Zusammenhänge im Schwingungsvorgang betrachtet und eine neue analytische Methode zur Vorhersage der Oszillationsfrequenzbandbreite daraus abgeleitet.

Um die Genauigkeit der Prognose von Hochfrequenzschwingungen zukünftig weiter zu steigern, wäre die Entwicklung eines Multiphysics-Simulators sinnvoll, der sowohl das physikalische Verhalten von Halbleitern als auch die elektrische Schaltungsanalyse in sich vereinigt.

## Summary

*The present PhD thesis deals with the modelling of resonance circuits inside IGBT-Power Modules, caused by the parallel arrangement of several power semiconductors. Main issue of this work was the prediction of high-frequency oscillation for supporting the Power Module Design to avoid electromagnetic disturbance.*

*Different prediction methods were developed and tested on the PETT-Oscillation, an exemplary high-frequency oscillation. Focused on the simulation of the parasitic environment in a power module varied FEM-simulators were used to extract them. The resulting parasitic models were implemented into circuit simulators and combined with capacitors, which represent the parallel semiconductors, the resonance circuits were rebuilt. For this approach the circuit network is assumed as linear and discussed in detail. The following model verification is based on extensive measurements of several semiconductor substrates, which provoke PETT-Oscillations. Finally the predictability of high-frequency oscillation was improved by finding a practicable modelling method. Beside circuit modelling the reason and behavior of PETT-Oscillation were analyzed. As a result this work presents a new method for predicting the frequency range of the PETT-Effect. To increase the prediction accuracy in the future, it would be useful to develop a multiphysics simulator, regarding the physics of the semiconductor as well as of the circuit network.*



DR.-ING. THORBJÖRN SIAENEN

Titel

**ZUR PRÄZISION DER STEUERBARKEIT ELEKTROMAGNETISCHER HOCHLEISTUNGSLINEAR-MOTOREN AM BEISPIEL EINES SYMMETRISCHEN TAYLOR-TEST-EXPERIMENTS**

Thorbjörn Sjaenen



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

**Zweitgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Markus Jan Löffler,  
Fachhochschule Gelsenkirchen

**Tag der Disputation:** 13. Juni 2013

**Zusammenfassung**

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt / Promotionsvorhaben von ISL Saint-Louis, Fachhochschule Gelsenkirchen und EVS / Universität Kassel wurde ein elektromagnetischer Schienenbeschleuniger als Basis für die Grundlagenforschung zur Hochgeschwindigkeitsumformung von Materialien entwickelt. Dabei werden kleine gleichartige zylindrische Materialproben mit Geschwindigkeiten nahe der Schallgeschwindigkeit oder darüber aufeinander zu beschleunigt, um die Verformungsdynamik mit Hochgeschwindigkeitskameras untersuchen zu können. Anwendungen der Erkenntnisse liegen z. B. in Sonderfertigungsverfahren wie elektromagnetischer Impulsumformung oder Explosiv-Umformung oder Plattierung in der metallverarbeitenden Industrie.

Schwerpunkt der Arbeit war die Verringerung der Streuung in der Endgeschwindigkeit zur Sicherung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch eine prädiktive Steuerung der Leistungszufuhr bei der magnetischen Beschleunigung. Dies wird durch eine optische Positionserfassung erreicht, aus der der Zündzeitpunkt für die Zuschaltung der nächsten Kondensatorbank bestimmt wird.

**Summary**

*In a joint research project of ISL Saint-Louis, FH Gelsenkirchen and EVS / University of Kassel an electromagnetic rail accelerator has been developed in order to enable the basic research of high-speed metal forming. Small cylindrical material probes of similar type are accelerated close or above the speed of sound and "shot" onto each other in order to be able to examine the distortion dynamism with high-speed cameras. Applications of the findings include e. g. special manufacturing methods such as electromagnetic impulse forming or explosive forming within the metal processing industry.*

*Main focus of the work was the reduction of the dispersion in the final speed to get a safe reproduction of the results by a predictive control of the power supply for the magnetic acceleration. This is reached by an optical position measurement from which the ignition time is determined for the switch-on of the next capacitor bank.*

DR.-ING. CHRISTOPH VAN BOOVEN

Titel

**UNTERSUCHUNG NETZGEKOPPELTER LADEKONZEPTE FÜR ZUKÜNFTIGE ELEKTRO- UND PLUG-IN-HYBRIDFAHRZEUGE****Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,  
Universität Kassel**Zweitgutachter:** Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz,  
Universität Kassel**Tag der Disputation:** 15. August 2013

Christoph van Booven

**Zusammenfassung**

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs im Automobil schreitet, aufgrund der Forderung nach immer effizienteren Kraftfahrzeugen, unaufhaltsam voran. Zeitgleich gewinnt die Ladetechnik für Elektro- und Plug-in Hybridfahrzeuge mehr und mehr an Bedeutung. Ziel der Untersuchung ist die Identifizierung der im Hinblick auf Kosten, Effizienz und Bauraum optimalen konduktiven onboard Ladevorrichtung mit Netzkopplung. Hierzu wird neben den weltweiten Netzverhältnissen, die Batterietechnik und das Sicherheitskonzept des Ladegeräts mit einbezogen, so dass ein ganzheitlicher Überblick einer automotiven Ladevorrichtung entsteht. Ferner werden die untersuchten Ladekonzepte zur besseren Vergleichbarkeit in drei Kategorien, stand-alone Ladekonzepte mit Wechselspannungseingang (einphasig), stand-alone Ladekonzepte mit Drehstromeingang (dreiphasig) und integrierte Ladekonzepte (ein-/dreiphasig), unterteilt. Unter integrierten Ladekonzepten werden im Rahmen dieser Arbeit Systeme verstanden, welche die Ladefunktion innerhalb eines elektrifizierten Fahrzeugs durch Einbindung des Antriebsumrichters sowie der elektrischen Maschine bereitstellen und somit insbesondere keine stand-alone Lösungen sind.

Nach Ableitung der grundlegenden Anforderungen, die sich im Wesentlichen aus dem zulässigen Ein- und Ausgangsspannungsbereich sowie dem verfolgten Sicherheitskonzept ergeben, werden in jeder der drei oben genannten Kategorien verschiedene Ladekonzepte präsentiert. Ausgehend vom Stand der Technik werden anschließend leistungselektronische Stellglieder zur Realisierung der Ladekonzepte vorgestellt, dimensioniert und systematisch gegenübergestellt. Hierzu werden hauptsächlich die erzielbare Effizienz sowie der Halbleiter- und Drosselmaterialeinsatz (Kostenindikator) als Bewertungskriterien herangezogen. Während die Halbleiter über eine Skalierung der Chipfläche so ausgelegt werden, dass sich für alle Halbleiterbauelemente eine konstante Sperrschichttemperatur einstellt, wird der Materialeinsatz der passiven Komponenten mit Hilfe von Wachstumsregeln abgeschätzt. Dieses Vorgehen ermöglicht, auf Basis eines relativen Vergleichs, eine objektive Gegenüberstellung der unterschiedlichen Ladekonzepte. Mit Hilfe der ermittelten Kenngrößen werden dann in den drei oben genannten Kategorien die Vor- und Nachteile der einzelnen Ladekonzepte diskutiert und anschließend eine Empfehlung ausgesprochen.

**Summary**

*The automotive powertrain electrification is moving forward, due to the demand for more efficient cars. Simultaneously charging technology for electric vehicles and plug-in hybrids becomes more and more important. The discussed charging solutions are versatile, but mainly distinguished by the placement of the charger (onboard vs. off board), the interface between vehicle and infrastructure (AC vs. DC) as well as the used energy transfer principle between infrastructure and vehicle (conductive vs. inductive). Based on the fact that during market entrance the electric vehicle penetration is low, only conductive grid coupled onboard chargers will be considered.*

*Goal of this thesis is to identify the best grid coupled conductive onboard charging concepts in respect to efficiency, costs and constructed size. For this purpose the worldwide grid infrastructure as well as battery systems and safety concepts will be taken into account, so that the outcome is a wide overview about an automotive charger. For reasons of comparability the analyzed charging concepts are divided in three main categories, stand-alone charging concepts with single-phase input, stand-alone charging concepts with three-phase input and integrated charging concepts with single or three-phase input.*

*In this context integrated charging concepts describe solutions that provide the charging functionality by using the traction inverter and the electric machine. After derivating the requirements like the allowed input and output voltage range as well as the used safety concept for each of the three above-named categories, the different charging concepts are presented. Based on state of the art converters, different charging concepts are introduced, dimensioned and systematically compared with each other. Evaluation criteria are mainly the achievable efficiency as well as the semiconductor and the choke material usage (cost indicator). Therefore, all semiconductors are dimensioned, by scaling the chip size, so that they operate with the same junction temperature. The material usage for the passive components is estimated with the help of expansion rules. This approach based on a relative comparison, guarantees an objective analysis of the different charging concepts. With the help of the identified characteristic values for each charging concept the advantages and disadvantages are discussed and a recommendation is indicated.*

DR.-ING. LIKAA FAHMED AHMED IZZAT

Titel

**DEVELOPMENT OF BRUSHLESS SELF-EXCITED AND SELF-REGULATED SYNCHRONOUS GENERATING SYSTEM FOR WIND AND HYDRO GENERATORS**

Likaa Fahmed Ahmed Izzat



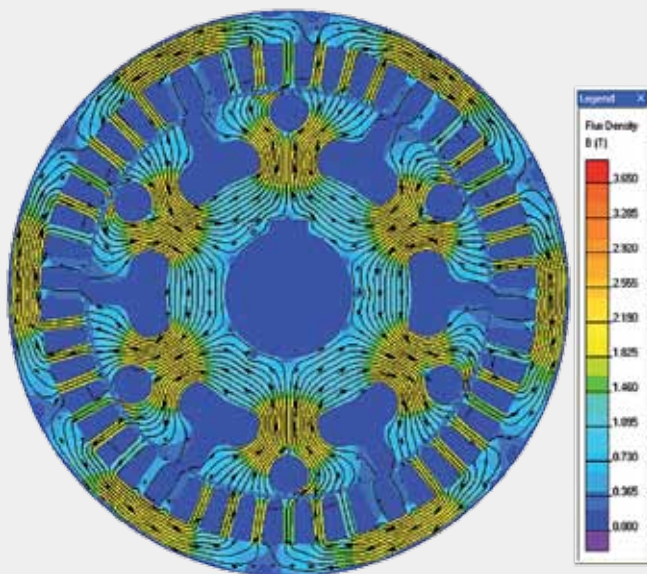
**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier,  
Universität Kassel

**Zweitgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Marcus Ziegler,  
Universität Kassel

**Tag der Disputation:** 23. August 2013

**Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde das entwickelte Model eines bürstenlosen Synchrongenerators praktisch aufgebaut, per FEM analysiert sowie eine Vielzahl an Untersuchungen vorgenommen. Ein Vergleich der Ergebnisse mit herkömmlichen Maschinen wurde durchgeführt und die vorgestellte Maschine kann für mehrpolige Wind/Wasserkraft-Generatoren oder Doppelpol-Dieselmotoren eingesetzt werden. Die Selbsterregung wird über Restmagnetismus und einem Kondensator gewährleistet und die Maschine ist auch selbstregulierend, da Last- und Geschwindigkeitsänderungen möglich sind. Durch den Wegfall der Permanentmagnete und einer hochentwickelten Polbauweise konnte ein höchst effizientes Erregerfeld aufgebaut werden. Die entwickelte Maschine stellt aufgrund der gewonnen Untersuchungsergebnisse eine gute Alternative zu herkömmlichen Generatoren dar. Dies gilt sowohl für technischen als auch wirtschaftliche Aspekte. Weiterhin kann sie zu einer höheren Netzstabilität beitragen.



FEM Simulation der Aufteilung der Flussdichte im Generator  
FEM Simulation of flux density distribution in the generator

**Summary**

*In this work, a developed model of brushless synchronous generator of wound rotor type is designed, analyzed by FEM, practically applied and investigated. A comparison of results with conventional machines is also performed. The presented machine can be applied for multi-pole wind/hydro generators or double-poles diesel-engine generators. It is self-excited by residual magnetism and a connected capacitor. It is also self-regulated by making use of fluctuations at load or limited speed changes. The generated voltage may last at extended speed range by arranging a generating system with variable capacitance. By eliminating the permanent magnets or advanced manufacturing technology of rotor poles; and without using extra rotating/ external DC exciters, an efficient excitation field and an output of flat self-compensated compound characteristic are obtained. More, the feature of damper windings is determined.*

*Concerning the fact of environmental diminishing of elements in materials of permanent magnets and D.C. Battery, the presented novel machine is hence a good alternative and more economic from generators, exist in the market. Besides, it is safer and highly recommended for power stability when connected to the grid.*



Labor Prüfstand des bürstenlosen, selbst-erregten und -geregelt Synchrongenerators  
Laboratory test-bench of the brushless self-excited and self-regulated synchronous generator



DR.-ING. KATHARINA MESSOLL

Titel

## UNTERSUCHUNG EINES RINGGENERATORS FÜR WINDENERGIEANLAGEN DER 10 MW-KLASSE AUF BASIS STATISCHER VERSUCHSMODELLE UND NUMERISCHER SIMULATION

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

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

**Tag der Disputation:** 3. Dezember 2013

Die Arbeit wurde am 11. März 2014 für den für den Bertha Benz-Preis für Ingenieurinnen 2014 nominiert.



Katharina Messoll

### Zusammenfassung

In der Arbeit wird ein Ringgenerator mit polyphasigen Einzelzahnwicklungen mit hochenergetischen Permanentmagneten in konzentrierender Anordnung und einer unregelmäßigen magnetischen Lagerung zur Luftspaltstabilisierung untersucht. Zur Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit bei einem getriebelosen Triebstrang zu erreichen wird ein sehr großer Durchmesser von ca. 20 m zugrunde gelegt. Die mechanische Stabilisierung dieser an sich nicht steifen Anordnung wurde als Problem herausgearbeitet, ist aber nicht Gegenstand der vorgenommenen Grundlagenuntersuchungen. Hier geht es um die Ermittlung der erreichbaren Kraftdichten und der Ursache für deren Grenzen sowie um eine Bestimmung der zu erwartenden Leistungen und Verlustdichten.

Die Arbeit konzentriert sich dabei auf Grundlagenuntersuchungen elektrischen und magnetischen Auslegung des Generators, um die erreichbaren Wirkungsgrade und Maschinenausnutzungsgrade basierend auf 2D- und 3D-Simulationen sowie auch experimentell gestützt für einen Generator mit 20 m Außendurchmesser abzuschätzen. Dies geschah im Rahmen des Verbund-Projekts „MagnetRing“ (gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) – Projektträger Jülich (PTJ)).

### Summary

*In this work was performed the investigation of a ring generator composed of multi-phase single-tooth windings with high-energy permanent magnets with concentrated arrangement and also unregulated of a magnetic bearing for stabilization of the air gap. In order to increase the peripheral speed in a gearless power train, a very large diameter of about 20 m was considered. The mechanical stabilization of such non-rigid structure was taken into account in the investigations, but was not a subject of the performed fundamental studies. Here the main focus lies on the determination of the achievable power densities and possible reason for their limitations, besides the determination of expected power level and loss density.*



Ausschnitt des Ringgenerators in den entwickelten Versuchsmodellen  
Ring generator segment in the test bench

*In this work were performed the fundamental studies concerning the electrical and magnetic design of a generator with 20 meter external diameter. In order to estimate the achievable efficiency and degree of machine utilization based on 2D- and 3D-simulations, as well as on experimental investigations. Such work was performed within the scope of the research project "MagnetRing" (funded by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) – Project manager Jülich (PTJ)).*

# **AUTONOMOUS VOLTAGE CONTROL STRATEGIES IN DISTRIBUTION GRIDS WITH PHOTOVOLTAIC SYSTEMS – TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT**

Thomas Stetz



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

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

**Tag der Disputation:** 18. Dezember 2013

## **Zusammenfassung**

Die Dissertation widmet sich diesem Themengebiet „kosteneffiziente Verteilnetzintegration von Photovoltaik in Deutschland“ indem sie die technische Effektivität und die wirtschaftliche Effizienz ausgewählter autonomer Spannungshaltungsstrategien analysiert und vergleicht.

Aufbauend auf einer Smart Meter Datenanalyse wird das theoretische und technische Potenzial von unterschiedlichen autonomen Spannungshaltungsstrategien bewertet. Auf der Basis von Netzdaten von insgesamt 40 realen Niederspannungsnetzen wird mittels probabilistischer Verfahren nachgewiesen das sowohl der regelbare Ortsnetztransformator als auch eine kombinierte, spannungsabhängige Wirk- und Blindleistungsregelung von PV-Wechselrichtern (sog. Q(U)/P(U)-Regelung) hohe technische Potenziale aufweisen.

Als eines der vielversprechendsten Verfahren werden für die spannungsabhängige Wirk- und Blindleistungsregelung von PV-Wechselrichter zwei spezielle Regelungsarten untersucht, die so genannte Q(U)/P(U)-Statik und ein Konzept zur automatischen Spannungsbegrenzung. Die Untersuchungen unterstreichen die Robustheit der Q(U)/P(U)-Regelung im Hinblick auf Änderungen von Prozess- und Reglerparametern im Vergleich zum Konzept der automatischen Spannungsbegrenzung. Weiterhin kann durch die Anwendung von Statiken ein ausgeprägteres Lastteilungsverhältnis zwischen parallel-betriebenen PV-Wechselrichtern erzielt werden.

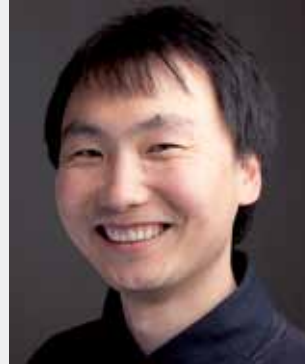
Am Beispiel von zwei realen Niederspannungsnetzen mit hoher lokaler PV-Durchdringung wird gezeigt, dass durch den Einsatz von autonomen Spannungshaltungsstrategien die Kosten zur Verteilnetzintegration von PV im Vergleich zum konventionellen Netzausbau um bis zu 75 % reduziert werden können. Im Rahmen dieser Kosten-Nutzen Analyse werden neben den Investitionskosten auch Betriebskosten mit analysiert. Das höchste Einsparpotenzial zeigt sich für den regelbaren Ortsnetztransformator und die spannungsabhängige Wirk- und Blindleistungsregelung von PV-Wechselrichtern, wobei immer die spezielle Charakteristik einzelner Netze berücksichtigt werden sollte.

## **Summary**

*Maintaining local voltage limitations in distribution grid sections with high penetration by residential scale photovoltaic systems is still a major issue for German distribution system operators who are in charge of maintaining a secure and reliable grid operation. In many highly penetrated distribution systems, cost intensive grid reinforcement measures become or have already become necessary in order to properly host the additional generation capacity. However, the application of alternative measures at distribution system level, such as the active usage of local voltage support provided by photovoltaic inverters and distribution transformers with on-load tap changer is still an emerging topic. It is accompanied by pending questions on the technical effectiveness and the economic efficiency of different kinds of autonomously operating voltage control strategies. Based on a smart meter analysis the theoretical potential of local voltage control strategies at low voltage level is investigated. Based on a total of 40 real low voltage grids, the theoretical potential of different autonomous voltage control strategies, in terms of increasing the grids hosting capacity, is analyzed using a probabilistic assessment approach. It becomes obvious that the application of distribution transformers with on-load tap changer (OLTC) is a technically effective measure to increase the voltage related hosting capacity of low voltage grids. Two different control concepts for a simultaneous voltage dependent active power control and reactive power provision by photovoltaic inverters are compared. The two control concepts are a common Q(V)/P(V) droop control and a so-called automatic voltage limitation. The investigations highlight the robustness of the droop controller against variations of controller and process parameter and its more distinct load-sharing capability compared to the concept of automatic voltage limitation. The cost reduction potential of advanced inverter functions and distribution substation OLTCs is assessed based on the example of two real low voltage grids with high local photovoltaic penetration. The results show that the application of autonomous voltage control strategies can reduce the grid integration costs of photovoltaic systems by up to 75% compared to traditional grid reinforcement measures. The study analyses investment costs as well as grid losses and maintenance costs over a period of ten years. Here again, distribution transformers with on-load tap changer and Q(V)/P(V) inverter control show the highest savings potential.*

DR.-ING. JUNGCHUL CHOI

Titel

**DESIGNING A ROBUST PITCH ANGLE CONTROLLER FOR A 2-MOTOR-PITCH-SYSTEM  
IN A LARGE WIND TURBINE****Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,  
Universität Kassel**Zweitgutachter:** Dr.-Ing. Boris Fischer,  
IWES**Tag der Disputation:** 21. Februar 2014

Jungchul Choi

**Zusammenfassung**

Neue Controller wie individuelle Blattverstellung oder Pitch-Regelung zu Dämpfung von Turmschwingungen werden für große Windturbinen entwickelt. Während die neuen Pitch-Regler die mechanischen Lasten an den Elementen von Windturbinen reduzieren, werden die Lasten im Aktorbereich erhöht. Die Aktoren müssen viel öfter und im höheren Umfang agieren. Um die neuen Pitch Regler zu implementieren, muss zuerst die Ermüdung des Aktorsystem verringert werden.

Das Spiel zwischen Zähnen von Getrieben und zwischen Ritzeln und Zahnringen erhöht die Ermüdung von Pitch-Aktuator-Systemen. Zwei Pitch-Aktuatoren schaffen hier eine mechanische Spannung auf dem Pitchaktuatorssystem und kompensieren das Zahnrad-Spiel. Spitzen in Drehmomenten, die Materialermüdung verursachen, werden in einem „2-Motor-Pitchregelsystem“ nicht mehr beobachtet. Ein Testaufbau, Modellierung, Parameter-Bewertung und Belastungssimulation wurden vor dem Reglerdesign durchgeführt. Mehrere robuste Regler-Methoden werden verglichen.

**Summary**

*New pitch controllers such as individual pitch control or tower damping control are developed for large wind turbines. Where as the new pitch controllers reduce load on the elements of wind turbines, more load is added onto the pitch actuation system. Pitch actuators must operate much more frequently and in higher amplitude. In order to adopt the new pitch controllers, fatigue of the pitch actuation system has to be solved first. Gear plays in gearboxes and between pinions and blade rings increases fatigue on pitch actuation systems.*

*The two pitch actuators create tension on the pitch actuation system and compensate for gear play. Torque peak, which causes fatigue, is no longer found with the two-pitch-motor-system. A test rig, modeling, parameter estimation and load simulation are performed prior to the controller several compared design.*



DR.-ING. JENS FRIEBE

Titel

## PERMANENTMAGNETISCHE VORMAGNETISIERUNG VON SPEICHERDROSSELN IN STROMRICHTERN

Jens Friebe



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

**Zweitgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Dick,  
Fachhochschule Köln

**Tag der Disputation:** 5. Juni 2014

### Zusammenfassung

Speicherdrosseln haben einen hohen Anteil am Gewicht und an den Kosten leistungselektronischer Wandler. Bei der Auslegung und Optimierung von Speicherdrosseln und auch anderen magnetischen Bauelementen muss der Entwickler jedoch häufig zwischen Materialien mit hoher Sättigungsflussdichte oder mit niedrigen spezifischen Kernverlusten eine Entscheidung treffen. Diese Entscheidung wirkt sich auf die Baugröße und auf das thermische Design der magnetischen Bauelemente und zumeist auch der gesamten Wandlerstufe aus.

Eine Möglichkeit Materialien niedriger spezifischer Kernverluste und vergleichsweise niedriger Sättigungsflussdichte höher aussteuern zu können um ihre Baugröße zu reduzieren, stellt die permanentmagnetische Vormagnetisierung dar. Es wird untersucht welchen Einfluss die permanentmagnetische Vormagnetisierung auf die Eigenschaften von Induktivitäten hat und welche Wandler topologien bzw. magnetische Bauelemente eine permanentmagnetische Vormagnetisierung funktional erlauben. Weiterhin wird untersucht, welche Materialkombinationen und welche Geometrien verwendet werden müssen um z. B. Lebensdauern Anforderungen zu erfüllen und wie die permanentmagnetische Vormagnetisierung auch für Kernmaterialien hoher Sättigungsflussdichte angewandt werden kann.

### Summary

#### **Premagnetization of Chokes for Power Converter**

*Chokes have a high impact on the weight and the cost of power converters. Optimization of chokes often leads to the choice between using a material with a high saturation flux density and using a material with low specific core losses. This choice has an influence on the size and the thermal design of the magnetic component and also often on the converter itself.*

*One possibility of using materials with lower specific core losses in a wider flux range is the premagnetization of the soft magnetic material. The influence of the premagnetization on the properties of chokes is studied and also which converter topologies can be used combined with premagnetized chokes. Additionally, different designs of chokes with premagnetization, the durability of premagnetized chokes and premagnetization of soft magnetic materials with high saturation flux density are investigated.*



**Gefördert durch: SMA Solar Technology AG**

Referenzdrossel (mitte) und vormagnetisierte Alternativen (links und rechts)  
Reference choke (center) and premagnetized alternatives (left and right)

DR.-ING. MEHMET CEMIL KAZANBAS

Titel

**ANALYSIS AND COMPARISON OF POWER ELECTRONIC CONVERTERS  
WITH ELECTRONIC ISOLATION****Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias,  
Universität Kassel**Zweitgutachter:** Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz,  
Universität Kassel**Tag der Disputation:** 07. Juli 2014

Mehmet Cemil Kazanbas

**Zusammenfassung**

Mit dem kontinuierlichen Anstieg des weltweiten elektrischen Energieverbrauchs gibt es mehr und mehr Anforderungen des Marktes und der Standards, die Szenarien und Roadmaps der künftigen Design-Kriterien zum Thema „Leistungselektronik-Systemen“ gestalten. Zudem wird aus Sicherheitsgründen das Thema „galvanische Trennung“ in leistungselektronischen Anwendungen immer stärker gefordert. Besonders in Photovoltaik (PV) Invertern hat diese Isolation eine große Bedeutung. Dies betrifft nicht nur zu erdende PV-Generatoren, sondern auch die Kompatibilität mit neuen Modultechnologien. In diesem Zusammenhang werden leistungselektronische Topologien analysiert. Anschließend wurde ein 2,5-kW-Labormuster mit den entsprechenden elektrischen Spezifikationen aufgebaut und der stationäre Wirkungsgrad unter verschiedenen Halbleitertechnologien bei Nennleistung mit verschiedenen Schaltfrequenzen untersucht. Basierend auf den praktischen Ergebnissen, ist der geplante PV-Wechselrichter mit elektronischer Isolierung eine Lösung für einen Wechselrichter, mit hoch- und tiefsetzendem Verhalten.

**Summary**

*With the continuous increase in global electrical energy consumption, there are more and more demands of the market and the standards, the scenarios and roadmaps for future design criteria on „power electronic systems“. In this context the topic of „electrical isolation“ demanded more and more in power electronic applications. Especially in photovoltaic (PV) inverters this insulation is very important. This applies not only to be grounded PV arrays, but also compatibility with new module technologies. In this context, a 2.5-kW laboratory prototype with the appropriate electrical specifications are constructed and measured. The coupled inductor is here studied as well as the steady efficiency under different semiconductor technologies at rated power with different switching frequencies. Based on the practical results PV inverter with electronic insulation is a solution for an inverter with inherent high-and low-setting behavior and flexible grounding configuration.*

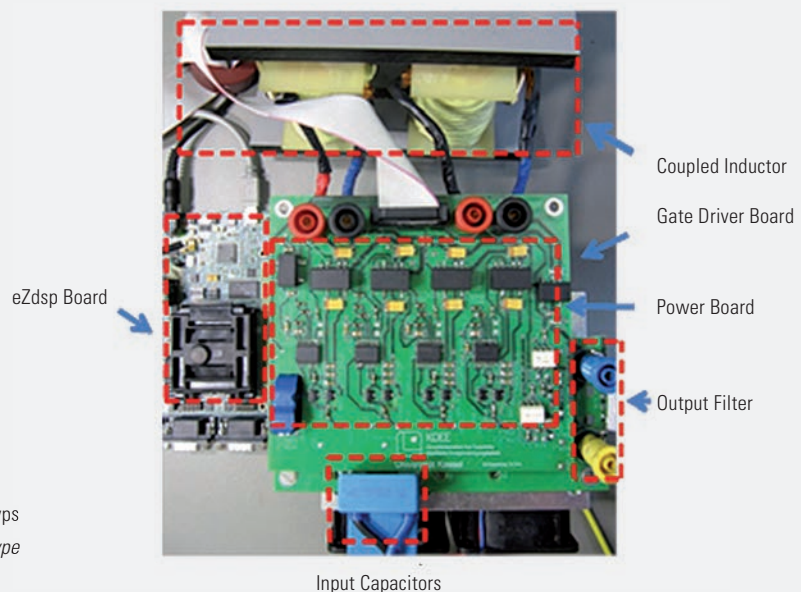


Foto des aufgebauten Prototyps  
Photo from the constructed prototype

DR.-ING. JULIA PINNE

Titel

# OPTIMIERUNG VON PV-WECHSELRICHTERN IM NETZPARALLELBETRIEB MITHILFE ANALYTISCHER VERHALTENS- UND VERLUSTLEISTUNGSMODELLE

Julia Pinne



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

**Zweitgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Marcus Ziegler, Universität Kassel

**Tag der Disputation:** 10. Dezember 2014

## Zusammenfassung

Photovoltaik-Wechselrichter haben mit dem starken Zuwachs der Nutzung von Solarenergie in den vergangenen Jahren eine große Bedeutung erlangt. Bei der Entwicklung von PV-Wechselrichtern künftiger Generationen liegt der Fokus auf der Reduktion der Kosten bei gleichzeitiger Erzielung eines hohen Wirkungsgrads sowie geringem Gewichts und Bauvolumens.

Die Erfüllung dieser Anforderungen ist in hohem Maße mit dem Design der Leistungsstufe verbunden, wobei i.d.R. eine Vielzahl von Topologien und Bauelemente zur Auswahl stehen und der Entwickler folglich einer mehrdimensionalen Optimierungsaufgabe gegenübersteht. In der Arbeit wird ein computergestütztes Design- und Optimierungsverfahren für leistungselektronische Konverter weiterentwickelt und validiert, welches den Entwickler bei der Lösung dieser mehrdimensionalen Optimierungsaufgabe unterstützt. Das Verfahren basiert auf analytischen Verhaltens- und Verlustleistungsmodellen, sodass die Ermittlung einer Vielzahl von Lösungen innerhalb kürzester Zeit möglich ist. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf den Drosseln: Neben der Untersuchung verschiedener Kern- und Wicklungsmaterialien, der Verlustmechanismen und ihrer analytischen Modellierung wird ein Optimierungsverfahren mittels evolutionärer Strategien entwickelt, das eine effektivere Optimierung der Drosseln hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Verluste zulässt.

Das Verfahren wird anhand der Optimierung einer Wechselrichterstufe im mittleren Leistungsbereich demonstriert, mittels derer zudem die messtechnische Validierung des Verfahrens vorgenommen wird. Darüber hinaus erfolgt die Validierung und Weiterentwicklung des Verfahrens für Schaltfrequenzen von bis zu 100 kHz.



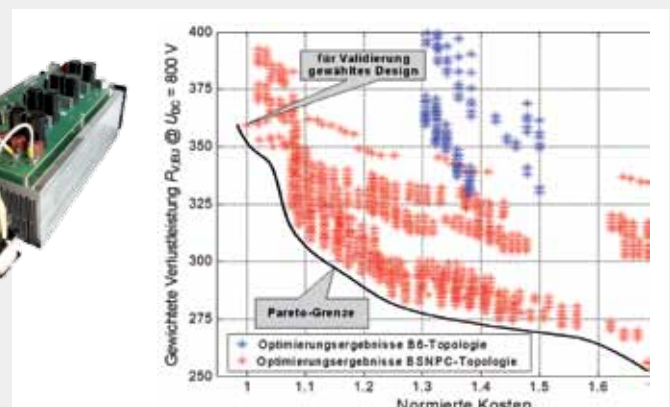
a) Optimierungsergebnisse und (b) Demonstrator der Wechselrichterstufe  
a) Optimization Results and (b) Demonstrator of the Inverter Stage

## Summary

Photovoltaic inverters have gained a high significance during the last years due to the strong growth in the usage of solar energy. In the development of future PV inverters the focus is on cost reduction with achieving high efficiencies as well as small weights and sizes at the same time.

The fulfilment of the criteria addressed above is closely linked to the design of the power stage – at this, a variety of topologies and devices are available for selection so that the engineer faces a multi-dimensional optimization task. In the thesis a computer-based design and optimization method for power electronic converters is further developed and validated that helps the engineer to solve the multi-dimensional optimization task. The method is based on analytical behavioural and loss models which allow determining an abundance of possible solutions in a short computing time. In this connection, particular attention has been paid to the chokes: Besides the analysis of different core and winding materials, the loss mechanisms and their analytical modelling an optimization method using evolutionary strategies is developed which allows a more effective optimization with regard to material input and losses.

The computer-based method is demonstrated and validated by means of optimizing an inverter stage in the medium power range. Above this, the method is validated and further developed for switching frequencies up to 100 kHz.





DR.-ING. ADIL EZZAHRAOUI

Titel

# **UNTERSUCHUNG DES BETRIEBSVERHALTENS EINER WINDKRAFTANLAGE MIT PERMANENT-ERREGTEN SYNCHRONGENERATOREN FÜR DEN EINSATZ IM OFFSHORE-BEREICH**

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

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

**Tag der Disputation:** 19. Dezember 2014



Adil Ezzahraoui

## **Zusammenfassung**

Die Arbeit betrifft ein Multigeneratorkonzept für Windkraftanlagen großer Leistung im 10 MW-Bereich mit zwei niedertourig drehenden permanenterregten Synchrongeneratoren (PMSG).

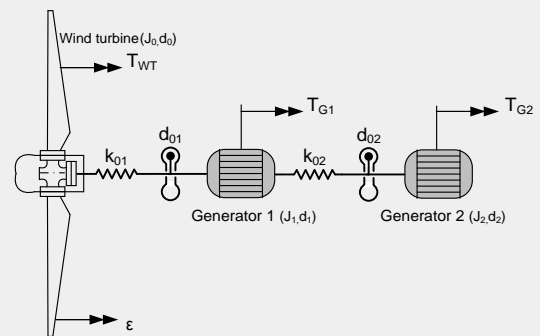
Ein Teil der Arbeit umfasst die Modellierung des Triebstrangs als mechanisches Drei-Massen-System. Die Windturbine wird dabei als starrer Körper mit dem Massenträgheitsmoment  $J_{WT}$ , Generator 1 mit  $J_{G1}$  und Generator 2 mit  $J_{G2}$  betrachtet. An der Windturbine wirkt das Antriebsmoment  $T_{WT}$ , am Generator 1  $T_{G1}$  und am Generator 2  $T_{G2}$ . Die Welle zwischen der Windturbine und Generator 1 wird als Torsionsfeder mit einer Federkonstante  $K_{01}$  sowie die Welle zwischen Generator 1 und Generator 2 als Torsionsfeder mit der Federkonstanten  $K_{02}$  berücksichtigt. Die Verbindung der Komponenten erfolgt durch entsprechende Drehdämpfer mit den Dämpfungskonstanten  $d_0$  für die Windturbine,  $d_{01}$  zwischen Windturbine und Generator 1,  $d_1$  für Generator 1,  $d_{02}$  zwischen Generator 1 und Generator 2 sowie  $d_2$  für Generator 2.

Eine Validierung des Drei-Massen-Modells wurde durch Vergleichsversuche an einem kleinen Versuchstriebstrangs im Labor durchgeführt.

## **Summary**

The thesis concerns the implementation of a multi-generator-concept for wind turbines in the 10 megawatt class. This is carried out by means of two low-speed rotating permanent magnet synchronous generators (PMSG).

Part of the work includes modeling the drive train as a mechanical three-mass system. Considering the turbine and both generators as independent masses the drive train can be described as a three-mass-system. In such a system the wind turbine is considered as a stiff subsystem. The following mass inertia moments are assumed:  $J_{WT}$  for the wind turbine,  $J_{G1}$  for generator 1  $J_{G2}$  for generator 2. On these three bodies,  $T_{WT}$  as external driving torque and  $T_{G1}$  and  $T_{G2}$  as



Schematische Darstellung des Triebstranges als Drei-Massen-Ersatzmodell  
Schematic of the mechanical drive train as a three-mass-model

resistive torques of the generators are generated. Furthermore, the shaft between wind turbine and generator 1 as well as the shaft between generator 1 and generator 2 are considered as torsion springs with the spring constants  $K_{01}$  and  $K_{02}$ , respectively. The components are connected by means of rotational dampers with the following damping constants:  $d_0$  for the wind turbine,  $d_{01}$  between wind turbine and generator 1,  $d_1$  for generator 1,  $d_{02}$  between generator 1 and generator 2 and  $d_2$  for generator 2.

A validation of the three-mass-model was performed on a small experimental drive train in the laboratory.

## AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2013 + 2014

2013	Name	Titel	Betreuer
Diplom I	<b>Crema, Gerrit</b>	Anforderungen an das Schutzkonzept für Photovoltaik-Wechselrichter im Medium Power Bereich	Zacharias SMA
Diplom I	<b>Ehrlich, Alexander</b>	Adaptives Schalten von Hochleistungs-IGBTs	Zacharias, SMA
Diplom I	<b>Fischer, Lukas</b>	Vergleich verschiedener Power-Line Kommunikationskonzepte und Realisierung eines Prototyps	Zacharias, SMA
Diplom I	<b>Harbusch, Tim</b>	Alternatives Energieversorgungskonzept für den Netzersatz auf Offshore Umspannplattformen für Windparks	Braun
Diplom I	<b>Pohlemann, Anja</b>	Reactive Power Compensation in a Distribution Grid – Comparison between Conventional Reactive Power Compensation and Provision from Distributed Generators	Braun
Diplom I	<b>Simon, Christina</b>	Analyse der Netzanbindung von Getriebeprüfständen an das VW eigene Versorgungsnetz	Zacharias, VW
Diplom I	<b>Valov, Maria</b>	Technische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Betriebsführungsstrategien für PV-Batteriesysteme in Niederspannungsnetzen	Braun

2014	Name	Titel	Betreuer
Diplom I	<b>Geher, Julian</b>	Wirtschaftliche Analyse verschiedener Anschlusszenarien regenerativer Energieeinspeiseanlagen unter Berücksichtigung kostenoptimierter Gesamtlösungen zur Reduzierung der Netzanschlusskosten	Braun
Diplom I	<b>Metje, Jan Philipp</b>	Untersuchungen zur Selektivität an einem Niederspannungsnetz mit hohem Anteil dezentraler Energieerzeugung	Braun
Diplom I	<b>Ortelt, Stefan</b>	Niederinduktive und breitbandige Strommessung in der Leistungselektronik	Zacharias
Diplom I	<b>Pfeiffer, Jonas</b>	Anwendung von EPC GaN HEMTs in einem galvanisch-isolierten DC/DC Konverter mit hoher Spannungsübersetzung	Zacharias
Diplom I	<b>Stein, Sebastian</b>	Plasmadiagnostische Messverfahren als Alternative zu elektrochemischen Gassensoren bei der thermischen Verwertung von biogenen Brennstoffen	Zacharias

## AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2013 + 2014

2013	Name	Titel	Betreuer
Diplom II	<b>Waldenburg, Kai</b>	Detektion und Klassifikation von Chipplötlunkern in Halbleitersubstraten mit Methoden der Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz	Zacharias

2013	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	<b>Döring, Lars</b>	Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik Großanlagen in ausgewählten Regionen des globalen Sonnengürtels	Zacharias
Bachelor	<b>Hoppe, Lars</b>	Vergleich verschiedener Ansätze zur Kühlung leistungselektronischer Bauteile im Zentralwechselrichter	Zacharias
Bachelor	<b>Küthe, Christoph</b>		Heier
Bachelor	<b>Schäfer, Dustin</b>	Konzeptionelle Einarbeitung von Mitarbeitern der Herstellung des Leistungsteiler SC-ST 10 15 – Ein handlungsorientierter Ansatz?	Zacharias

2014	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	<b>Becker, Tobias</b>	Analyse von Taktverfahren mit variabler Frequenzen zur Reduktion der Störaussendung dreiphasiger Wechselrichter	Zacharias, SMA
Bachelor	<b>Bethke, Florian</b>	Synchronisierung des Taktverfahrens der AC-Brücke von parallel geschalteten dreiphasigen PV-Wechselrichtern	Zacharias, SMA
Bachelor	<b>Kreuzer, Marcel</b>	Untersuchung geeigneter Spulenanordnungen für induktives Laden	Zacharias
Bachelor	<b>Sauer, Torben</b>	Batteriespeichermanagement – Aufbau einer optimalen Ladestandsregulierung als Randbedingung für das Virtuelle Kraftwerk	Braun
Bachelor	<b>Sprunck, Sebastian</b>	Entwicklung eines Ladegeräts für ein Doppelspannungs-Bordnetz in Formel-Rennwagen am Beispiel des Formula Student-Teams der Universität Kassel	Zacharias



## AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2013 + 2014

2013	Name	Titel	Betreuer
Master	<b>Augst, Ayla</b>	Entwicklung und Untersuchung von Kurzzeit- Einspeiseprognosen zur Netz- und Marktintegration von Wind und Photovoltaik ins deutsche Stromversorgungsnetz	Heier
Master	<b>Benzaoui, Choukri Slimane</b>	Weiterentwicklung und Automatisierung des modularen Prüfstands für Elektrofahrzeugkomponenten zur Effizienzuntersuchung von Teilsystemen	Heier
Master	<b>Bornemann, Tobias</b>	Entwicklung und Optimierung eines Windkraftanlagenkonzepts für komplexe bewaldete Binnenlandstandorte mit Hilfe von Simulationsprogrammen	Heier
Master	<b>Drusenbaum, Christoph</b>	Entwicklung eines Algorithmus zur Entscheidung des Abrufs von Minutenreserve	Heier
Master	<b>Ehmann, Markus</b>	Demand Side Management mit PV-Wärmepumpen-Speichersystemen in Niederspannungsnetzen: Eine deutsche Fallstudie	Braun
Master	<b>Fuchs, Patrick</b>	Aufbau- und Verbindungstechnik bei Kleinstwechselrichtern für die Photovoltaik	Zacharias, SMA
Master	<b>Gerling, Christoph</b>	Reihenschaltung von Leistungshalbleiterschaltern (IGBTs)	Zacharias, SMA
Master	<b>Haldorn, Hauke</b>	Auswirkungen dezentraler Energieerzeugung auf den Schutz elektrischer Netze – Analyse und Lösungskonzepte	Heier
Master	<b>Hoblitz, Charlotte</b>	Erhöhung der räumlichen Auflösung von dynamischen Einspeisezeitreihensimulationen von Windenergieanlagen	Heier
Master	<b>Höhre, Mike</b>	Spannungsgeführter Wechselrichter	Zacharias, SMA
Master	<b>Idlbi, Basem</b>	Operation optimization for PV plants hybrid with diesel units in stand-alone systems	Heier
Master	<b>Kehrer, Wolfgang</b>	Autonomous Voltage Control Strategies in a real US Distribution Grid with a high PV-Penetration	Braun
Master	<b>Kral, Thomas</b>	Implementierung und Analyse von Regelungsalgorithmen zur Spannungshaltung durch Photovoltaik-Wechselrichter mittels Rapid Control Prototyping	Braun
Master	<b>Kreis, Jannes</b>	Ökonomische Potentiale im Energiemanagement von Stadtwerken-Analyse und Optimierung der Stromversorgung des Wasserwerks Simmershausen	Braun

## AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2013 + 2014

2013	Name	Titel	Betreuer
Master	<b>Lammert, Gustav</b>	Dynamische Netzstützung im Niederspannungsnetz	Braun
Master	<b>Moncef Labed</b>	Vergleichende Bewertung von Szenarien für die Integration von Photovoltaik mit Hilfe automatisierter Netzplanungsverfahren: Fallstudie mit integrierter Simulation von Mittel- und Niederspannung bis 2030	Braun
Master	<b>Nothdurft, Markus</b>	Beitrag zur Technologiequalifizierung des Kondensators – Entladungsschweißen zum Einsatz in der automobilen Getriebefertigung	Zacharias
Master	<b>Raab, Sebastian</b>	Einsatzmöglichkeiten von Batterie-Großspeichern in Mittelspannungsnetzen mit hohem Windenergieanteil	Braun
Master	<b>Rettig, Steffen</b>	Accuracy Analysis of LiDAR-Measurements for Wind Resource Assessment in Complex and Forested Terrain	Heier
Master	<b>Schmidt, Dirk</b>	Alternative Verteilernetztopologien zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsnetzen für dezentrale Erzeugungsanlagen	Braun
Master	<b>Schütz, Christian</b>	Entwicklung von Regelungsstrategien zur Stabilitätsweiterung und Senkung des Dieserverbrauchs für Dieselnetze mit PV-Anteil	Zacharias, SMA
Master	<b>Shirzad, Shora</b>	Konzipierung und Implementierung einer Applikation zur mobilen Datenerfassung in der Instandhaltung von WEA	Heier
Master	<b>Stappel, Mirjam</b>	Zusammenhang zwischen Fehlern in der Windleistungsprognose und in der Wettervorhersage und deren Abhängigkeit von der Wetterlage	Heier
Master	<b>Unruh, Peter</b>	Entwurf und Validierung eines Regelungskonzepts für den gleichberechtigten Parallelbetrieb dreiphasiger Stromrichter	Heier
Master	<b>Velenderić, Michele</b>	Einbindung beliebiger Leistungsmessungen in die Online-Hochrechnung der eingespeisten Leistung von Windkraftanlagen – Untersuchung und Erweiterung des IWES Modells zur Online-Hochrechnung der Einspeisung aus Windkraftanlagen basierend auf Referenzwindparks	Braun
Master	<b>Winter, Divine Isabelle</b>	Untersuchung und Integration eines Energiespeichersystems in Photovoltaikanlagen	Braun
Master	<b>Wölk, Patrick</b>	Untersuchung der Anwendbarkeit von Micro-Inverter Topologien in Inselnetzen und Blindleistungsfähigkeit	Zacharias, SMA

## AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2013 + 2014

2014	Name	Titel	Betreuer
Master	<b>Bruns, Martin</b>	Erstellung von Speisekonzepten zur autarken, dezentralen Versorgung von Bahnsteigen	Käbisch, Zacharias
Master	<b>Glöckler, Christoph</b>	Zustandsüberwachung elektrischer Eigenschaften im Spannungszwischenkreis von PV-Wechselrichtern	Zacharias, SMA
Master	<b>Junker, Bastian</b>	Methoden zur vorausschauenden Netzbetriebsführung eines Verteilnetzes anhand von Photovoltaik-Einspeiseprognosen	Braun
Master	<b>Krix, Henning</b>	Verbesserung der räumlichen Auflösung bestehender Wettermodelle mittels einer physikalischen Methode zum regionalen Downscaling	Heier, Rohrig
Master	<b>Lümmer, Jannah</b>	Veränderung der Kurzschlussströme im Hoch- und Mittelspannungsnetz durch gesteigerte Anteile dezentraler Erzeugungsanlagen	Zacharias
Master	<b>Möller, Felix</b>	Analyse und Auslegung eines doppelten Synchronwandlers	Zacharias, SMA
Master	<b>Naciri, Siham</b>	Messtechnische Untersuchungen an Bypassdioden	Zacharias, Funtan IWES
Master	<b>Rothenburger, Max</b>	Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Gleichstromseitigen Kurzschlusschutz in Solarstromkraftwerken	Zacharias, SMA
Master	<b>Steffen, Jonas</b>	Entwicklung und Implementierung von Algorithmen zur Regelung einer Photovoltaikanlage	Zacharias, Käbisch
Master	<b>Stein, Sebastian</b>	Plasmadiagnostische Messverfahren als Alternative zu elektrochemischen Gassensoren bei der thermischen Verwertung von biogenen Brennstoffen	Zacharias
Master	<b>Umlauf, Sebastian</b>	Finite-Elemente-Simulation von Wickelgütern	Zacharias, SMA

## PUBLIKATIONEN 2013 / 2014

## Beiträge in wissenschaftlichen Journals/Fachzeitschriften

1. F. Niedermeyer, J. von Appen, M. Braun, A. Schmiegell, M. Rothert, N. Kreutzer „Transparentes Verfahren zum Vergleich der Performance von PV-Batteriesystemen“, PV-Magazine, Ausgabe 11/2014, Nov. 2014
2. D. Lafferte “Wind power integration into the Northern Inter-connected Power System of Chile”, ISJ – International Scientific Journal: Journal of Environmental Science, ISBN-13: 978-1499721980, vol. 3, Seiten 79-86, Jul. 2014
3. P. Hochloff, M. Braun “Optimizing biogas plants with excess power unit and storage capacity in electricity and control reserve markets” Reference: JBB3442, Journal title: Biomass and Bioenergy, Volume 65, Juni 2014
4. M. Roch, S. Hudertmark, M. Löffler, P. Zacharias “Augmented Electromagnetic Accelerators – Technical Solutions and New Ideas”, IEEE Transactions on Plasma Science Vol. 41, No.10, 10.2013
5. J. Friebe, P. Zacharias “Review of Magnetic Material Degradation Characteristics for the Design of Premagnetized Inductors”, IEEE Transactions on Magnetics No.99, 08.2013
6. A. C. Schittler, D. Pappis, A. Campos, M. A. Dalla Costa, J. M. Alonso “Interleaved buck converter applied to high-power HID lamps supply: design, modeling and control”, IEEE Transactions on Industry Applications, Juli – August 2013
7. T. Stetz, F. Marten, M. Braun “Improved Grid-Integration of Photovoltaic Systems in Germany – Technical and Economical Analysis of Improved Operation Methods for PV Inverters in Low Voltage Systems”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 4, No. 2, pp. 534-542, April 2013
8. J. v. Appen, M. Braun, A. U. Schmiegell, T. Stetz “Local Voltage Control Strategies for PV Storage Systems in Distribution Grids”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 4, No. 2, April 2013
9. J. v. Appen, M. Braun, T. Stetz, K. Diwold, D. Geibel “Time in the Sun – The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid”, pp. 55-64, IEEE power & energy magazine, März/April 2013
10. D. Pappis, A. C. Schittler, J. R. Pause, M. A. Dalla Costa, A. Campos, J. M. Alonso “Modified flyback for HID lamp supply: design, modeling and control”, IEEE Transactions on Industry Applications, März – April 2013

## Beiträge in Konferenzproceedings 2013/2014

1. D. Lafferte, P. Zacharias, M. Braun “Integración de parques eólicos al sistema eléctrico chileno del Norte Grande”, Iberoamerican Congress on Energy – IntegraCIER 2014, 10. Nov. 2014, Punta del Este, Uruguay
2. E. Kämpf, H. Abele, S. Stepanescu, M. Braun “Reactive Power Provision by Distribution System Operators – Optimizing Use of Available Flexibility”, ISGT Europe, Istanbul, Turkey, October 2014
3. P. Kaufmann, C. Chen, M. Braun, M. Platzner “Comparison of Nature-Inspired Algorithms for the Optimization of Generator Start-up Sequences after a Power System Blackout”, 13<sup>th</sup> International Conference on Parallel Problem Solving from Nature, Ljubljana, Slovenia, 13.-17. Sept. 2014
4. W. Kruschel, M. Kale, T. Maurer, I. Hauer, P. Zacharias “Use of Multifunctional Power Electronic Network Controllers in Smart Distribution Systems”, 16<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Sept. 2014, Antalya, Türkei
5. T. Kleeb, F. Fenske, M. Kazanbas, S. Araújo, P. Zacharias “Performance advantage of enhanced transformers with integrated current doubler”, PCIM 2014, Nürnberg
6. E. de Oliveira, S. Araújo, B. Dombert, P. Zacharias “Onboard battery chargers in electric cars: benchmarking a novel 5-level hybrid converter with a full SiC-based approach, PCIM 2014, Nürnberg
7. S. Araújo, M. Kazanbas, M. Wendt, T. Kleeb, P. Zacharias “Prospects of GaN devices in automotive electrification”, PCIM 2014, Nürnberg
8. D. Lafferte, M. Dias, C. Felgemacher, W. Kruschel, P. Zacharias “Strom-Überlastfähigkeit von Umrichtern für Windkraftanlagen am Beispiel von Systemen mit doppelt gespeistem Asynchronengenerator”, in: Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern, Sept. 2014. NEIS 2014
9. E. Kämpf, M. Braun, A. Schweer, W. Becker, R. Halbauer F. Berger “Reactive Power Provision by Distribution System Operators” Poster und Paper C6\_302\_2014, CIGRE Session 45 Conference, 28. Aug. 2014, Paris
10. G. Lammert, T. Heß, M. Schmidt, P. Schegner, M. Braun “Dynamic Grid Support in Low Voltage Grids – Fault Ride-Through and Reactive Power/Voltage Support during Grid Disturbances”, 18<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference PSCC 2014, 18.-20. August, Wroclaw, Polen
11. H. Barth, B. Idlbi, J. von Appen, M. Braun “Spannungshaltung und Leistungsausgleich erneuerbarer Energieerzeugung mittels Speichern im Mittelspannungsnetz”, Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern (NEIS) 2014, Hamburg 18.-19.08.2014



12. C. Ma, F. Marten, J.-C. Töbermann, M. Braun "Evaluation of Modeling and Simulation Complexity on Studying the Impacts of Electrical Vehicles Fleets in Distribution Systems", 18<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference (PSCC'14), Wroclaw, Poland, Aug. 2014
13. F. Marten, L. Löwer, J.-C. Töbermann, M. Braun "Optimizing the reactive power balance between a distribution and transmission grid through iteratively updated grid equivalents", 18<sup>th</sup> Power Systems Computation Conference (PSCC'14), Wroclaw, Poland, Aug. 2014
14. M. Kraicy, T. Stetz, S. Schmidt, M. Braun, G. Wirth, J. Brantl „Rückwirkung der lokalen Spannungsregelung der Photovoltaikanlagen auf die Regelung von Umspannwerks-Transformatoren und regelbarem Ortsnetztransformator“, 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2014, Bad Staffelstein, März 2014
15. F. Niedermeyer, J. v. Appen, A. Schmiegeler, N. Kratzer, A. Reischl, W. Scheuerle, M. Braun „Allgemeine Performanceindikatoren für PV-Speichersysteme“. 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2014, Bad Staffelstein, März 2014
16. T. Stetz, J.-C. Töbermann, M. Kraicy, J. von Appen, M. Braun, J. Brantl, S. Schmidt, A. Schmiegeler, D. Premm, S. Bröscher, A. Jung „Zusatznutzen von Photovoltaik-Wechselrichtern mit kombinierter Q(U)-P(U)-Regelung in der Niederspannung“, 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2014, Bad Staffelstein, März 2014
17. C. Felgemacher, P. Jäger, A. Kobeissi, J. Pfeiffer, D. Wiegand, W. Kruschel, B. Dombert, S. Araújo, P. Zacharias "Design of Photovoltaic Microinverter for Off-Grid and Grid-Parallel Applications", in: 8<sup>th</sup> International Conference on Integrated Power Systems (CIPS), 25.-27. Februar 2014, Nürnberg
18. J. Hinze, J. Friebe, P. Zacharias, S. Araújo, T. Leifert "Power Semiconductor Packaging in PV Inverters up to 30kW power, a difficult choice", CIPS Februar 2014, Nürnberg
19. J. v. Appen, M. Braun "Assessment of Grid-Supporting PV Storage Systems", 8<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2013), Berlin, 18.-20. Nov. 2013
20. M. Braun „Das neue dezentrale Energiesystemdesign (Keynote)“, Fachtagung Smart Energy 2013, Dortmund, 14.-15. November 2013
21. F. Marten, K. Diwold, L. Löwer, L. M. Faiella, P. Hochloff, L. H. Hansen, M. Braun "Analysis of a reactive power exchange between distribution and transmission grids", IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems (IWIES 2013), Wien, 14. November 2013
22. T. Kleeb, B. Dombert, F. Fenske, P. Zacharias "Optimized size design of an automotive on-board power supply", IECON, Wien, 10.11.2013
23. E. Kämpf, S. Wildenhues, M. Braun „Einhaltung definierter Blindleistungsbänder an HS/MS Übergabestellen durch Einsatz der Blindleistungsfähigkeit dezentraler Einspeiser“, Internationaler ETG-Kongress 2013 (VDE), Berlin, 5.-6. Nov. 2013
24. T. Stetz, M. Kraicy, K. Diwold, E. Kämpf, J.-C. Töbermann, D. Geibel, M. Braun, S. Schmidt, A. Schmiegeler, D. Premm, A. Jung, S. Bröscher „Netzparallelbetrieb von Photovoltaikanlagen und regelbaren Ortsnetztransformatoren“, Internationaler ETG-Kongress 2013 (VDE), Berlin, 5.-6. Nov. 2013
25. A. Abdel-Majeed, S. Tenbohlen, M. Braun, D. Schöllhorn „Platzierung von Messstationen für Niederspannungszustandsschätzung“, Internationaler ETG-Kongress 2013 (VDE), Berlin, 5.-6. Nov. 2013
26. S. Eilenberger, D. Schöllhorn, M. Braun, M. Sojer, T. Smolka „Probabilistische Netzsimulation zur Bewertung von regelbaren Transformatoren“, Internationaler ETG-Kongress 2013 (VDE), Berlin, 5.-6. Nov. 2013
27. M. Brunner, S. Tenbohlen, M. Braun „Wärmepumpen als Möglichkeit zur Spannungsregelung in Niederspannungsnetzen“, Internationaler ETG-Kongress 2013 (VDE), Berlin, 5.-6. Nov. 2013
28. M. Wendt, P. Zacharias „Einsatz von GaN-Transistoren in DC-DC-Wandlern kleiner Leistungen“, VDE Workshop „Schaltungstechnik für GaN-Bauelemente in der Leistungselektronik“, Berlin, 04.11.2013
29. A. Hauer, D. Laing, H. C. Gils, S. Gschwander, M. Braun „Speicherung von Stromspitzen in Wärme und Kälte“, Jahrestagung 2013 des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE), Freiburg, 24.-25. Okt. 2013
30. L. F. A. Izzat, S. Heier "Development in Design of Brushless Self-Excited and Self-Regulated Synchronous Generator", ICRERA (International Conference on Renewable Energy Research and Applications), Madrid, Spain, 20.-23.10.2013
31. C. Felgemacher, W. Kruschel, L. Döring, P. Zacharias „Herausforderungen für Zuverlässigkeit und Lebensdauer leistungselektronischer Systeme in der Energieversorgung“, NEIS, Hamburg, 12.09.2013
32. V. Scarpa, G. Deboy, S. Araújo, P. Zacharias "Enabling PV Inverter Trends With New Power Device Technologies", EPE, Lille, 03.-05.09.2013
33. W. Kruschel, J. P. da Costa, B. Dombert, D. Mende, T. Bülo, P. Zacharias „Power Electronic Voltage Regulator for Increasing the Distributed Generation Capacity in Low Voltage Networks“, EPE, Lille, 04.09.2013

34. T. Kleeb, B. Dombert, S. Araújo, P. Zacharias "Loss measurement of magnetic components under real application conditions", EPE, Lille, 03.09.2013
35. T. Kleeb, S. Araújo, P. Zacharias "Size and performance optimization of filter inductors for highly efficient and compact power conversion circuits", EPE, Lille, 03.09.2013
36. M. Kraicz, M. Braun, G. Wirth, S. Schmidt, J. Brantl "Interferences between Local Voltage Control Strategies of a HV/MV-Transformer and Distributed Generators", 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Paris, Sept. 2013
37. D. Lafferte, P. Zacharias "Optimization of the crowbar protection in doubly fed induction wind generators acc. the Chilean grid code requirements for wind power", Encuentros Boston 2013, MIT (USA), 28.06.2013
38. J.-C. Töbermann, D. Geibel, M. Hau, R. Brandl, P. Kaufmann, C. Ma, M. Braun, T. Degner "Real-Time Simulation of Distribution Grids with high Penetration of Regenerative and Distributed Generation", OPAL-RT Real-Time Conference 2013, Paris, 25.-27. Juni 2013
39. F. Niedermeyer, M. Braun, T. Kneiske, N. Kreutzer, A. Reischl, M. Rothert, W. Scheuerle, A. Schmiegell, A. Schütt "Test Procedures for Grid-Connected Residential PV-Battery Systems", Intersolar Europe Conference 2013, München, 17. Juni 2013
40. B. Idlbi, K. Diwold, T. Stetz, H. Wang, M. Braun "Cost-benefit Analysis of Central and Local Voltage Control provided by Distributed Generators in MV Networks", page 1-6, IEEE PowerTech Grenoble 2013, Grenoble, 16.-20. Juni 2013
41. M. Nemati, S. Tenbohlen, M. Braun, M. Imran, B. Meyer, H. Müller "Development of Generic Dynamic Models for Generators in Smart Grids and Microgrids", IEEE PowerTech Grenoble 2013, Grenoble, 16.-20. Juni 2013
42. H. Barth, D. Hidalgo, A. Pohlemann, M. Braun, L. H. Hansen, H. Knudsen "Technical and Economical Assessment of Reactive Power Provision from Distributed Generators: Case Study Area of East Denmark", pp.1-6, IEEE PowerTech Grenoble 2013, Grenoble, 16.-20. Juni 2013
43. S. Löther, T. Stetz, M. Braun "Voltage Control Capabilities of Biogas Plants in Parallel Operation – Technical and Economical Assessment", IEEE PowerTech Grenoble 2013, Grenoble, 16.-20. Juni 2013
44. W. Heckmann, H. Barth, J. Dasenbrock, C. Ma, T. Reimann, A. Scheidler, L. Hamann, M. Braun "Detailed Analysis of Network Losses in a Million Customer Distribution Grid with High Penetration Distributed Generation", 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution CIRED, Stockholm, 10.-13. Juni 2013
45. A. Abdel-Majeed, S. Tenbohlen, D. Schöllhorn, M. Braun "Meter Placement for Low Voltage System State Estimation with Distributed Generation", 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution CIRED, Stockholm, 10.-13. Juni 2013
46. A. Probst, M. Seel, M. Braun, S. Tenbohlen "Probabilistic Grid Planning with Consideration of Dispersed Generation and Electric Vehicles", 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution CIRED, Stockholm, 10.-13. Juni 2013
47. J. v. Appen, M. Braun, T. Kneiske "Voltage Control Using PV Storage Systems in Distribution Systems", 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution CIRED, Stockholm, 10.-13. Juni 2013
48. T. Kleeb, D. Gottschalk, F. Fenske, P. Zacharias "Design of a Transformer with integrated Current Doubler for an Automotive On-Board Power Supply", PCIM, Nürnberg, 14.05.2013
49. S. Araújo, T. Kleeb, P. Zacharias "High switching speeds and loss reduction: prospects with Si, SiC and GaN and limitations at device, packing and application level", PCIM 2013, Nürnberg
50. J. P. da Costa; W. Kruschel, D. Mende, T. Bülo, P. Zacharias "Use of Power Electronic Voltage Regulators in Low Voltage Distribution Networks", ECPE-Workshop "Power Electronics in the Electrical Network", Kassel, 13.03.2013
51. J. v. Appen, M. Braun, T. Kneiske, A. Schmiegell „Einfluss von PV-Speichersystemen auf das Niederspannungsnetz“, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 7. März 2013
52. J.-C. Töbermann, M. Braun, E. Kaempf, J. von Appen, M. Kraicz, T. Stetz, J. Brantl, S. Schmidt, S. Broescher, D. Premm, A. Schmiegell, „Forschungsprojekt PV-Integrated – technisch und wirtschaftlich verbesserte Netzintegration von PV-Anlagen in Verteilnetze“, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 7. März 2013
53. M. Kraicz, M. Braun, T. Stetz, J. Brantl, S. Schmidt, „Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen der lokalen Spannungsregelung des Umspannwerks-Transformators und der lokalen Blindleistungsregelung dezentraler Erzeugungsanlagen im Verteilungsnetz“, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 7. März 2013

## Bücher und Buchbeiträge

1. S.Heier "Grid Integration of Wind Energy, Onshore and Offshore Conversion Systems". 3. Auflage, Wiley-Verlag 2014, ISBN 978-1-119-96294-6
2. G. Lammert „Dynamische Netzstützung im Niederspannungsnetz: Verbesserung der Netzstabilität durch Weiterentwicklung des Verhaltens von dezentralen Erzeugungsanlagen im Fehlerfall“, AV Akademikerverlag, 2014, 132 Seiten, ISBN-13:978-3-639-49898-1
3. T. Stetz "Autonomous Voltage Control Strategies in Distribution Grids with Photovoltaic Systems Technical and Economic Assessment" (202 Seiten) Zugl.: Kassel, Univ. Diss, 2013, kassel university press, Reihe Energy Management and Power System Operation 1 (Hrsg. M. Braun), ISBN: 978-3-86219-712-5, 2014

## Öffentliche Vorträge

1. M. Braun „Special Features of DSO Reactive Power Ancillary Services for TSOs“, CIGRE SC6 Session 2014, Paris 28.8.2014
2. M. Braun: „Das neue dezentrale Energiesystemdesign“, Smart Energy 2013, Dortmund, 15.11.2013.
3. M. Braun "Distributed Storage for Short Fluctuations – Impact on Distribution System", ECPE Workshop – Power Electronics in the Electrical Network (Renewables, Energy Storage, Grid Stability), Kassel, 12.-13. März 2013
4. P. Zacharias "Power Electronics in the Electricity Network", ECPE-Workshop "Power Electronics in the Electrical Network", Kassel, 12.03.2013
5. P. Zacharias "Role of Power Electronics in Future Grids What PE can do in Smart Grids, Super Grids, Micro Grids?", ECPE-Workshop "Power Electronics in the Electrical Network", Kassel, 12.03.2013
6. P. Zacharias „Was hat die kosmische Strahlung mit der Lösung des 50,2 Hz-Problems und der Blindleistungsbereitstellung der Photovoltaik zu tun?“, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 06-08.03.2013

## PUBLIKATIONEN 2012 – 2009\*

\* Aufgeführt sind hier nur Publikationen des Fachgebiets e<sup>2</sup>n seit dessen Gründung im September 2012. Ca. 80 Publikationen von Prof. Braun im Zeitraum 2009–2012 sind daher hier nicht genannt, können aber bei Interesse gerne angefragt werden.

### Beiträge in wissenschaftlichen Journals/Fachzeitschriften

1. T. Stetz, M. Kraicz, M. Braun, S. Schmidt "Technical and Economical Assessment of Voltage Control Strategies in Distribution Grids", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Special Issue: 27<sup>th</sup> EU PVSEC, Frankfurt, Germany, Okt. 2012
2. M. Braun, T. Stetz, R. Bründlinger, C. Mayr, K. Ogimoto, H. Hatta, H. Kobayashi, B. Kroposki, B. Mather, M. Coddington, K. Lynn, G. Graditi, A. Woyte, I. MacGill "Is the Distribution Grid Ready to Accept Large Scale Photovoltaic Deployment? – State of the Art, Progress and Future Prospects", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Volume 20, Issue 6, pages 681–697, Sept. 2012
3. T. Stetz, K. Diwold, M. Kraicz, M. Braun, D. Geibel, S. Schmidt "Techno-Economic Assessment of Voltage Control Strategies in Low Voltage Grids", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 5, Issue 4, pg. 2125–2132, DOI 10.1109/TSG.2014.2320813
4. J. P. da Costa, H. Pinheiro, T. Degner, G. Arnold "Robust Controller for DFIGs of Grid-Connected Wind Turbines," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.58, no.9, pp. 4023–4038, Sept. 2011
5. B. Sahan, S. Araújo, C. Nöding, P. Zacharias "Comparative Evaluation of Three-Phase Current Source Inverters for Grid Interfacing of Distributed and Renewable Energy Systems," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.26, no.8, pp. 2304–2318, Aug. 2011
6. S. V. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias, R. Rupp and X. Zhang "Application of SiC Normally-On JFETs in Photovoltaic Power Converters: Suitable Circuits and Potentials", Materials Science Forum Journal, Volume Silicon Carbide and Related Materials 2010, vol. 645 – 648, pp. 1111 – 1114, 2010
7. S. V. Araújo, P. Zacharias, R. Mallwitz "Highly Efficient Single-Phase Transformerless Inverters for Grid-Connected Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.9, pp.3118 – 3128, Sept. 2010
8. S. V. Araújo, R. P. Torrico-Bascope, G. V. Torrico-Bascope "Highly Efficient High Step-Up Converter for Fuel-Cell Power Processing Based on Three-State Commutation Cell", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.6, pp.1987 – 1997, Jun. 2010
9. G. Spagnuolo, G. Petrone, S. V. Araújo, C. Cecati, E. Friis-Madsen, E. Gubia, D. Hissel, M. Jasinski, W. Knapp, M. Liserre, P. Rodriguez, R. Teodorescu, P. Zacharias "Renewable Energy Operation and Conversion Schemes: A Summary of Discussions During the Seminar on Renewable Energy Systems," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol.4, no.1, pp.38 – 51, March 2010
10. S. Heier, M. Hilbert „Vom Wind zum elektrischen Strom“, Praxis der Naturwissenschaften, Heft 5/58, Juli 2009, 58. Jg. Aulis Verlag Deubner, Köln & Leipzig. S. 24 – 29

11. V. Scarpa, S. Buso and G. Spiazzi "Low-Complexity MPPT Technique Exploiting the PV Module MPP Locus Characterization", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.56, no.5, pp.1531–1538, May 2009.

12. P. Zacharias "Perspectives of SiC Power Devices in Highly Efficient Renewable Energy Conversion Systems", Materials Science Forum Journal, Volume Silicon Carbide and Related Materials 2008, vol. 615 – 617, pp. 889 – 894, March 2009

### Beiträge in referierten Konferenzproceedings 2012 – 2009

1. K. Messoll, S. Heier "Analysis on the Force Density of a New Ring Generator Concept for 10 MW Wind Energy Converters", Deutsche Windenergie-Konferenz (DEWEK), Bremen, 7.-8. Nov. 2012
2. A. Ezzahraoui, S. Heier "Multi Generator Concept for Wind Turbines", Deutsche Windenergie-Konferenz (DEWEK), Bremen, 7.-8. Nov. 2012
3. S. Eilenberger, D. Schöllhorn, M. Braun „Aktives, intelligentes Niederspannungsnetz Sonderbuch – Messdaten, Simulation und Optimierungsmöglichkeiten“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
4. M. Nemati, M. Braun, M. Ramold, H. Müller „Entwicklung eines Optimierungstools zur Dimensionierung und Platzierung eines Batteriespeichers in Mikronetzen“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
5. K. Diwold, W. Yan, M. Braun „Koordinierte Spannungsregelung anhand einer Zustandsschätzung im Verteilnetz“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
6. T. Kneiske, H. Barth, D. Hidalgo, M. Braun „Photovoltaik-Wärmepumpen-Hybridsystem“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
7. T. Stetz, H. Wolf, Y.M. Drenan, E. Kämpf, M. Braun, A. Probst, S. Eilenberger, D. Schöllhorn, S. Schmidt „Stochastische Analyse von Smart-Meter Messdaten“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
8. M. Khattabi, M. Braun, C. Hübner, A. Kießling „Verteilnetzautomatisierung als Grundlage für die intelligente Energieversorgung der Zukunft“, VDE Kongress, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012
9. A. Abdel-Majeed, H. Wang, M. Braun, D. Schöllhorn „Zustandsschätzung in Niederspannungsnetzen mit Hilfe von Smart Metern“, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.-6. Nov. 2012



10. T. Bülo, D. Mende, D. Geibel, T. Degner, J. P. da COSTA, W. Kruschel, K. Boldt, F. Sutter, T. Hug, B. Engel, P. Zacharias „Spannungshaltung in aktiven, intelligenten Niederspannungsnetzen“, Smart Grid Intelligente Energieversorgung der Zukunft, Nov. 2012, Stuttgart
11. T. Bülo, D. Mende, G. Bettenwort, D. Geibel, T. Degner, A. Seibel, J. P. da COSTA, W. Kruschel, K. Boldt, F. Sutter, T. Hug, B. Engel, P. Zacharias “Voltage Control in Active, Intelligent Distribution Networks”, 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Okt. 2012
12. D. I. Hidalgo Rodriguez, L. Spitalny, J. Myrzik, M. Braun “Development of a Control Strategy for Mini CHP Plants for an Active Voltage Management in Low Voltage Networks”, IEEE ISGT Europe 2012 Conference, Berlin, 14.-17. Okt. 2012
13. E. Kämpf, M. Bauer, R. Schwinn, M. Braun “ICT Infrastructure Design Considering ICT Contingencies and Reserve Requirements on Transmission Level”, IEEE ISGT Europe 2012 Conference, Berlin, 14.-17. Okt. 2012
14. M. Braun, J. v. Appen, H. Barth, T. Degner, K. Diwold, D. Geibel, E. Kämpf, F. Marten, F. Niedermeyer, T. Stetz „Neue Auslegung und Betriebsführung von Verteilnetzen in dezentralen Versorgungsstrukturen“, 17. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, Kassel, 10.-12. Okt. 2012
15. M. S. G. Dias, J. P. da Costa, H. Einfeld, P. Zacharias “High Performance Controller for Multiphase Brushless DC Motor”, XX<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines (ICEM’2012), Sept. 2012, Marseille
16. A. Ezzahraoui, F. Thalemann, S. Heier „Betriebsverhalten einer Windkraftanlage mit mehreren permanenterregten Synchrongeneratoren für den Einsatz im Offshore-Bereich“, Decentralized Power Systems (DPS) 2012, Sept. 2012, Paderborn
17. J. von Appen, A. Schmiegel, M. Braun “Impact of PV Storage Systems on Low Voltage Grid – A Study on the Influence of PV Storage Systems on the Symmetry of the Grid”, 27<sup>th</sup> EU PVSEC, Frankfurt, 24.-28. Sept. 2012
18. T. Stetz, M. Kraiczy, M. Braun “Technical and Economical Assessment of Voltage Control Strategies for Photovoltaic Systems”, 27<sup>th</sup> EU PVSEC, Frankfurt, 24.-28. Sept. 2012
19. J. Binder, H.D. Mohring, M. Danzer, O. Schanz, A.U. Schmiegel, A. Linhart, M. Landau, J. von Appen, F. Niedermeyer, M. Braun, D. Magnor, D.-U. Sauer, H. Schuh, U. Thomas, N. Martin, J.-C. Marcel, C. Jehoulet “Sol-Ion PV Storage System: Field Trial Results, Spread of Operating Conditions and Performance Evaluation Based on Field Data”, 27<sup>th</sup> EU PVSEC, Frankfurt, 24.-28. Sept. 2012
20. N. Martin, B. Berseneff, C. Grosjean, B. Lazpita, M. Perrin, J.-C. Marcel, C. Jehoulet, A. U. Schmiegel, A. Linhart, J. Binder, H.-D. Mohring, M. Danzer, M. Landau, J. von Appen, M. Braun, D.U. Sauer, D. Magnor, U. Thomas “Sol-Ion PV Storage System: The French Overseas Territories as a Use Case”, 27<sup>th</sup> EU PVSEC, Frankfurt, 24.-28. Sept. 2012
21. P. Zacharias “Power Electronics for Grid Integration of Renewable Energies”, Invited lecture. TIA Summer School for POWER ELECTRONICS, Tsukuba, Aug. 2012, Japan
22. G. Petrone, G. Lempidis, B. Sahan, E. Mamarelis, P. Zacharias, G. Spagnuolo “One Cycle Control for photovoltaic module-integrated inverters,” 3<sup>rd</sup> IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG) 2012, June 2012, Aalborg
23. T. Sjaenen, M. Schneider, P. Zacharias, M. J. Löffler “Actively Controlling the Muzzle Velocity of a Railgun”, International Symposium on Electromagnetic Launch Technology (EML), 2012 16<sup>th</sup> 15-19 May 2012
24. P. Zacharias “Reliability and Lifetime Aspects of Power Electronic Components in Photovoltaic Systems”, 1<sup>st</sup> Thailand-Germany Workshop on RE, Chiang Mai 2012, Thailand
25. P. Zacharias “Perspectives and Challenges of Alternative and Renewable Energy in Future”, Invited Keynote, World Alternative Energy Forum (WAEF), Chiang Mai 2012, Thailand
26. S. Araújo, T. Hjort, P. Zacharias “The Renaissance of the BJT as a Highly Efficient Power Device Based on SiC Material”, PCIM 2012 Conference, May 2012, Nuremberg
27. M. Kazanbas, C. Nöding, T. Kleeb, S.V. Araújo, L. Menezes, P. Zacharias “A novel single-phase transformerless photovoltaic inverter with innovative semiconductor technologies”, PCIM, May 2012, Nürnberg
28. D. Geibel, T. Degner, T. Reimann, T. Bülo, B. Engel, J. P. da Costa, W. Kruschel, B. Sahan, P. Zacharias “Active, Intelligent Low Voltage Networks Results and Experiences of the Field Test”, CIRED Workshop, May 2012
29. M. Meinhardt, P. Zacharias, S. Heier “Power Electronics for Renewable Energy Systems”, Tutorial, International Conference on Power Conversion and Intelligent Motion, March 2012, Nuremberg
30. P. Zacharias “Solar Power. Invited Keynote”, International Conference on Power Conversion and Intelligent Motion, March 2012, Nuremberg

31. S. Araújo, P. Zacharias "Reducing expenditure with cooling in renewable power conversion systems with innovative SiC switches", 7<sup>th</sup> International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS 2012), March 2012, Nuremberg
32. M. Kazanbas, C. Nöding, C. H. Can, T. Kleeb, P. Zacharias "A new single phase transformerless photovoltaic inverter topology with coupled inductor", 6<sup>th</sup> IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), March 2012, Bristol, England
33. T. Kleeb, M. Kazanbas, L. Menezes, P. Zacharias "Analysis and design of coupled inductor for a new single phase transformerless photovoltaic inverter topology", 6<sup>th</sup> IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), March 2012, Bristol, England
34. M. Kazanbas, L. Menezes, P. Zacharias "Considerations on Grounding Possibilities of Transformerless Grid-connected Photovoltaic Inverters", the 2<sup>nd</sup> IEEE ENERGYCON Conference & Exhibition, 2012 / Advances in Energy Conversion Symp, 2012, Florence, Italy
35. W. Kruschel, J. P. da Costa, B. Sahan, T. Bülo, P. Zacharias „Dezentrale Spannungsregelung in intelligenten Niederspannungsnetzen – Leistungselektronische Komponenten zur Erhöhung der Aufnahmekapazität für erneuerbare Erzeugungseinheiten“ ETG Fachtagung, Würzburg, Nov. 2011
36. F. Bätz-Oberhäuser, F. Ackermann, R. Horff, R. Emmerich, M. Braun, H. Einfeld „Multifunktionale Stromrichtersysteme zur Nachbildung netzgekoppelter Elektrofahrzeuge“, ETG Fachtagung, Würzburg, Nov. 2011
37. J. P. da Costa, P. Zacharias, F. Gafaro "Reduction of voltage violations at remote location by intelligent active and reactive power control of a DFIG based wind turbine", 14<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2011, Sept. 2011
38. S. V. Araújo, P. Zacharias "Perspectives of high-voltage SiC-semiconductors in high power conversion systems for wind and photovoltaic sources", Proceedings of the 2011–14<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2011), 10, Aug. 30 2011–Sept. 2011
39. V. R. Scarpa, S. V. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias "Achieving Higher Power Density in DC-DC Converters for Photovoltaic Applications" in Proc. European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), Aug. 2011
40. S. Araújo, C. Nöding, B. Sahan, P. Zacharias "Exploiting the Benefits of SiC by Using 1700 V Switches in Single-Stage Inverter Topologies Applied to Photovoltaic Systems", in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), Nürnberg, May 2011
41. F. Ackermann, T. Bülo, C. Nöding, P. Funtan „Untersuchung von Einflussgrößen bei Wirkungsgrad- und Leistungsmessungen von PV-Wechselrichtern“, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein 2011
42. J. P. da Costa, F. Gafaro, T. Degner, S. Heier, H. Pinheiro "Simulation Model and Investigation of DFIG Integration in weak Networks during Unbalanced Voltage Conditions", German Wind Energy Conference (DEWEK), Nov. 17 – 18, 2010, Bremen
43. J. P. da Costa, C. Dziendziol, T. Degner, S. Heier, H. Pinheiro "An improved fault ride-through capability for grid connected doubly fed induction generator based wind turbines", German Wind Energy Conference (DEWEK), Nov. 17 – 18, 2010, Bremen
44. K. Messoll, S. Heier "HVAC Grid Connection of Large Offshore Wind Farms", German Wind Energy Conference (DEWEK), Nov. 17 – 18, 2010, Bremen
45. J. P. da Costa "Contribution to Study of Doubly-Fed Induction Generators: Operation under Network Disturbances", The European Academy of Wind Energy (EAWE) 2010, Trondheim, Oct. 2010
46. P. Zacharias „Stromrichter für Elektrofahrzeuge“, in 15. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik – Erneuerbare Energien und E-Mobilität, pp.101 – 124, Kassel, Sept. 2010
47. S. V. Araújo, M. K. Kazanbas, P. Zacharias "Breaking the theoretical limits of silicon with innovative switch technologies", in Proc. of the 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 676 – 681, July 2010
48. S. V. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias "Comparative Evaluation of SiC-JFETs applied to Power Converters in Renewable Energy Systems" in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion China (PCIM), Shanghai, July 2010
49. N. P. Polyzos, E. P. Drakakis, K. Siderakis, E. C. Tatakis, G. Lempidis "Power losses analysis in a single switch resonant reset forward converter implemented with a SiC power JFET", in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), pp 969 – 974, Nuremberg, July 2010
50. G. Lempidis, M. Rzeszut, P. Zacharias, N. Polyzos "A Zero Voltage Transition Isolated Cuk Current Source Inverter for Photovoltaic Module Integrated Converter Applications", in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), pp.791 – 794, Nuremberg, May 2010
51. S. Araújo, M. K. Kazanbas, P. Zacharias "Considerations on switching losses and electromagnetic compatibility (EMC) of innovative semiconductor technologies", in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), pp. 601 – 607, Nuremberg, May 2010

52. C. Nöding, B. Sahan, P. Zacharias "Evaluation of a three-phase two-HF-switch PV inverter with thyristor-interface and active power factor control", in Proc. Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), pp. 538 – 542, Nuremberg, May 2010

53. P. Zacharias „Zuverlässigkeit Elektrischer und Elektronischer Komponenten in PV-Anlagen“, 25. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, March 2010

54. S. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias, R. Rupp, X. Zhang "Application of SiC Normally-On JFETs in Photovoltaic Power Converters: Suitable Circuits and Potentials", Proceedings of the International Conference on Silicon Carbide and Related Materials, ICSCRM'09, Oct. 2009

55. P. Zacharias „Beiträge zur Netzregelung durch dezentrale Energieerzeugungsanlagen“, in Proc. Internationaler ETG-Kongress 2009 – Leistungselektronik in Netzen, Düsseldorf, Okt. 2009

56. L. Brabetz, M. Ayeb, P. Zacharias „Leistungselektronik in der Fahrzeugarchitektur“, in Proc. E-MOTIVE Expertenforum Elektrische Fahrzeugantriebe, Hannover, Sept. 2009

57. P. Zacharias "Decentralized Energy Distribution", in Proc. 13<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications, Barcelona, Sept. 2009

58. S.V. Araújo, P. Zacharias "Analysis on the potential of Silicon Carbide MOSFETs and other innovative semiconductor technologies in the photovoltaic branch", in Proc. 13<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1 – 10, Sept. 2009

59. B. Koirala, B. Sahan, N. Henze "Study on MPP Mismatch Losses in Photovoltaic Applications", in Proc. 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Sept. 2009

60. M. Heeb, F. Pfirsch, Th. Hunger, O. Schilling, P. Zacharias "Carrier Transit Time Approximation for Prediction of PECT Oscillation in Power Diodes" in Proc. European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion, Nuremberg, May 2009

61. B. Sahan, S.V. Araújo, Th. Kirstein, L. Menezes, P. Zacharias "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs", in Proc. European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion, Nuremberg, May 2009

62. S.V. Araújo, P. Zacharias, B. Sahan „Neue nicht galvanisch getrennte Konverter für netzgekoppelte System mit geerdetem PV-Generator“, in Proc. 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, pp. 402 – 407, March 2009

63. M.S.G. Dias, L.C. De Souza Marques "Robust Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Higher-Order Sliding Mode Approach" in Proc. of X Brazilian Power Electronics Conference (Cobep), Bonito, 2009

## Bücher und Buchbeiträge 2012–2009

1. P. Zacharias „Elektronische Energiewandler für netzgekoppelte photovoltaische Solaranlagen“, in: D. Schröder; Leistungselektronische Schaltungen. 3. Auflage, Springer-Verlag 2012, ISBN 978-3-642-30104-9, S.1446-1484

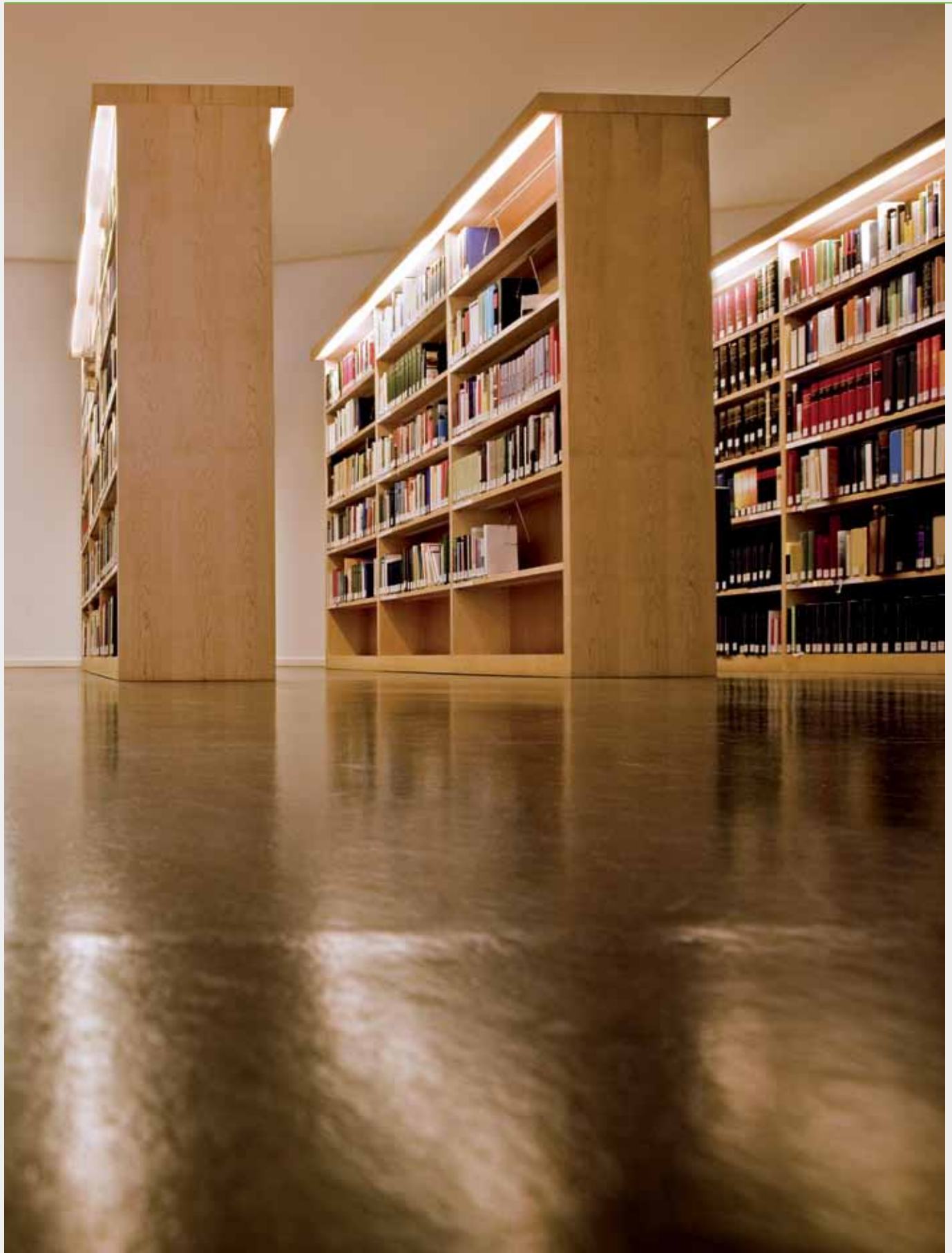
2. B. Valov, P. Zacharias „Die Nordsee geht ans Netz“, in: Bührke, Thomas/Wengenmayr, Roland (Hrsg.) Erneuerbare Energie, Dez. 2011, ISBN 978-3-527-41108-5 - Wiley-VCH, Berlin, S. 109-111

3. S. Heier, J.P. da Costa, K. Messoll, B. Valov "Grid Connected Systems: Interconnection, Transmission and Generation", in: Wind Energy International 2011/2012, World Wind Energy Association, pp. 355–364, ISBN: 978-3-940683-02-1x

4. B. Valov, P. Zacharias „Die Nordsee geht ans Netz, Erneuerbare Energie: Alternative Energiekonzepte für die Zukunft“, Wiley-VCH Verlag, 2010

5. P. Zacharias et al. "Use of Electronic-based Power Conversion for Distributed and Renewable Energy Sources", Kassel: ISET, 2<sup>nd</sup> ed., 2009

6. S. Heier „WINDKRAFTANLAGEN – Systemauslegung, Netzintegration und Regelung“, 2009, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 5. überarbeitete und aktualisierte Auflage, 482 Seiten, gebunden, fester Einband, ISBN: 978-3-8351-0142-5







## PATENTE UND SCHUTZRECHTE

### Schutzrechte mit Erfinderanteilen von EVS und e<sup>2</sup>n

Schutzrechte mit Erfinderanteilen von EVS und e<sup>2</sup>n  
KDEE in der Tradition von Erfindungsanmeldungen  
KDEE in the tradition of patents

- hohe Innovationsrate im Bereich regenerative Energie & Energieeffizienz | *high innovation rate in the area of renewable energies and energy efficiency*

### Veröffentlichte Patentfamilien

1. W. Heckmann, M. Braun, J. Dasenbrock, „Verfahren zur Bestimmung von Verlusten in einem Verteilernetz“, angemeldet 7. Juni 2013 (nur Vorlage)
2. Heier, Siegfried; Izzat, Likaa Fahmi Ahmed; DE102010060998A1, „*Bürstenloser Synchrongenerator und Generatoranordnung mit einem bürstenlosen Synchrongenerator*“, 06.06.2012
3. Mehmet Kazanbas, Christian Nöding, Peter Zacharias; DE102011052768.0 „*Wechselrichter mit gekoppelten Induktivitäten*“, 22.03.2012
4. Zacharias, Peter; Mallwitz, Regine; Araújo, Samuel Vasconcelos; Sahan, Benjamin; WO02011042567A1, „*Blindleistungsfähiger Wechselrichter*“, 14.04.2011
5. Zacharias, Peter; Sahan, Benjamin; Kazanbas, Mehmet; Falk, Andreas; Vasconcelos, Samuel Araújo, DE102009052461A1, „*Wechselrichter-Schaltungsanordnung*“, 26.05.2011
6. Rigbers Klaus; Mallwitz, Regine; Engel, Bernd; Zacharias, Peter, WO02010069620A1, „*Transformatorloser Wechselrichter mit einem DC/DC-Wandler*“, 24.06.2010
7. Mallwitz, Regine; Zacharias, Peter; EP000002144359A2, „*DC/ DC- Wandler*“, 13.01.2010
8. Friebe, Jens; Mallwitz, Regine; Zacharias, Peter; EP000002136465A1, „*Wechselrichter in Brückenschaltung mit langsam und schnell getakten Schaltern*“, 18.06.2008/23.12.2009
9. Engel, Bernd; Mallwitz, Regine; Zacharias, Peter, EP000002023475A1, „*Wechselrichter für eine geerdete Gleichspannungsquelle, insbesondere einen Photovoltaikgenerator*“, 11.02.2009
10. Heier, Siegfried, DE102007035570A1, „*Doppelt gespeister Asynchrongenerator und Verfahren zu dessen Betrieb*“, 05.02.2009
11. Zacharias, Peter; Sahan, Benjamin, DE102007028077B4, „*Vorrichtung zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz und Gleichspannungswandler für eine solche Vorrichtung*“, 16.04.2009
12. Zacharias, Peter; Sahan, Benjamin, DE102007028078B4, „*Vorrichtung zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz und Gleichspannungswandler für eine solche Vorrichtung*“, 16.04.2009
13. Zacharias, Peter; Sahan, Benjamin, DE102007030577A1, „*Wechselrichter zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz*“, 02.01.2009
14. Zacharias, Peter; Friebe, Jens; Blumenstein, Felix; Gerlach, Ann-Katrin; Scheuermann, Jan; Zinn, Matthias, DE102007038959A1, „*Wechselrichter*“, 26.02.2009
15. Zacharias, Peter; Friebe, Jens; Blumenstein, Felix; Gerlach, Ann-Katrin; Scheuermann, Jan; Zinn, Matthias, DE102007038960A1, „*Wechselrichter*“, 26.02.2009
16. Cramer, Guenther; Kleinkauf, Werner; Meinhardt, Mike; Zacharias, Peter, DE000019961705B4, „*Vorrichtung zur dezentralen Einspeisung regenerativer Energie*“, 01.12.2005
17. Kleinkauf, Werner, DE000019635606A1, „*Vorrichtung zur Erzeugung einer höheren Wechselspannung aus mehreren niedrigeren Gleichspannungen und dafür geeigneter Bausatz*“, 05.03.1998
18. Kleinkauf, Werner; Krengel, Uwe, DE000004302687A1, „*Verfahren und Wechselrichter zur Umwandlung von Gleichstrom in Drehstrom*“, 08.09.1994
19. Heier, Siegfried; Kleinkauf, Werner, DE000004232356C2, „*Stromversorgungseinrichtung mit mindestens zwei Stromquellen*“, 09.01.1997
20. Kleinkauf, Werner, Sachau, Jürgen, DE000004129053A1, „*Verfahren und Vorrichtung zur Regelung von Synchronmaschine und drehstromseitig angekoppeltem statischen Umrichter*“, 04.03.1993
21. Kleinkauf, Werner; Sachau, Jürgen, DE000003931800C2, „*Vorrichtung zur Stabilisierung einer Drehstromversorgung*“, 10.07.2003

UniKasselTransfer

## MITARBEITER DES KDEE/EVS/e<sup>2</sup>n

### Leitung



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



**Prof. Dr.-Ing.  
Martin Braun (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6202  
martin.braun@uni-kassel.de

### Stellvertretende Leitung / EVS



**Dr.-Ing. Mathias Käbisch (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6166  
mathias.kaebisch@uni-kassel.de



**Dr.-Ing. Samuel Araújo (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6516  
s.araujo@uni-kassel.de

### Forschungsgruppenleiter KDEE/Leistungselektronik

### Windkrafttechnik



bis 2013  
**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Siegfried Heier (pensioniert)**  
Tel.: 0561 804 6345  
heier@uni-kassel.de

### Teamleiter e<sup>2</sup>n



**Dr. rer. nat. Jan Hegemann (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6165  
jan.hegemann@uni-kassel.de

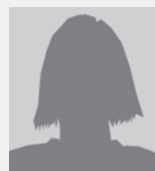


**Dr. rer. nat. Stefan Gehler (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6176  
stefan.gehler@uni-kassel.de

### Sekretariat



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



**Frau Claudia Erdt (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6201  
cerdt@uni-kassel.de

### Mitarbeiter



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



bis 04.2013  
**Dr.-Ing. Jean Patric da Costa (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6491  
jdacosta@uni-kassel.de

WWW.KDEE.UNI-KASSEL.DE  
WWW.UNI-KASSEL.DE/EECS/EVS & WWW.E2N.UNI-KASSEL.DE

## Mitarbeiter



**M.Sc. Milena Dias (EVS)**

Tel.: 0561 804 6510  
m.dias@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Benjamin Dombert (EVS)**

Tel.: 0561 804 6404  
b.dombert@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Werner Döring (EVS)**

Tel.: 0561 804 6465  
werner.doering@uni-kassel.de



**Dipl.-Phys. Elisabeth Drayer (e<sup>2</sup>n)**

Tel.: 0561 804 6432  
elisabeth.drayer@uni-kassel.de



bis 12.2013

**Dipl.-Ing. Adil Ezzahraoui (EVS)**

Windenergietechnik  
Tel.: 0561 804 6454  
ezzahraoui@uni-kassel.de



**M.Eng. Eduardo Facanha de Oliveira (EVS)**

Tel.: 0561 804 6477  
e.oliveira@uni-kassel.de



**M.Eng. Christian Felgemacher (EVS)**

Tel.: 0561 804 6477  
c.felgemacher@uni-kassel.de



**Dipl. Ing. Florian Fenske (EVS)**

Tel.: 0561 804 6320  
f.fenske@uni-kassel.de



**M.Sc. Dirk Fetzer (e<sup>2</sup>n)**

Tel.: 0561 804 6323  
dirk.fetzer@uni-kassel.de



**Wolfgang Fröhlich (EVS)**

Tel.: 0561 804 6465  
w.froehlich@uni-kassel.de



bis 06.2013

**Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christof Gericke (geb. Dziendziol), M.Sc. (EVS)**

Windenergietechnik  
Tel.: 0561 804 6370 | dziendziol@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Bernd Größ (e<sup>2</sup>n)**

Tel.: 0561 804 6228  
gruess@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Manuel Günther (EVS)**

Tel.: 0561 804 6404  
m.guenther@uni-kassel.de



**M.Sc. Juliane Hinze (EVS)**

Tel.: 0561 804 6305  
juliane.hinze@uni-kassel.de



bis 10.2014

**Dipl.-Ing. Wolfram Hofman**

Tel.: 0561 804 6477  
w.hofman@uni-kassel.de



**Dr.-Ing. Likaa Fahmi Ahmed Izzat (EVS)**

Tel.: 0561 804 6563  
likaafahmi@uni-kassel.de



16.9.2013 – 30.09.2014 Gast  
Researching Assistant Professor  
University Düzce / Turkey

**Murat Kale (EVS)**



bis 07.2013

**Dr. rer. nat. Paul Kaufmann (e<sup>2</sup>n)**

Tel.: 0561 804 6165  
paul.kaufmann@uni-kassel.de



## MITARBEITER DES KDEE/EVS/e<sup>2</sup>n

### Mitarbeiter



08.09.2014 – 08.12.2014 Gast  
Researching Assistant Professor  
Sakarya University/Turkey  
**Murat Karabacak (EVS)**



**Dr.-Ing. Mehmet Kazanbas (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6491  
mehmet.kazanbas@uni-kassel.de



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



**Dipl.-Ing. Wolfram Kruschel (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6320  
w.kruschel@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Dario Lafferte (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6658  
dario.lafferte@uni-kassel.de



**M.Sc. Gustav Lammert (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6653  
gustav.lammert@uni-kassel.de



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



**M.Sc. Jan-Hendrik Menke (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6654  
jan-hendrik.menke@uni-kassel.de



bis 10.2013  
**Dr.-Ing. Katharina Messoll (EVS)**  
Windenergietechnik  
Tel.: 0561 804 6454  
messoll@uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Christian Nöding (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6512  
christian.noeding@uni-kassel.de



Gast / Researching Assistant Professor  
**Rodrigo Padilha Vieira (EVS)**



**M.Sc. Douglas Pappis (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6320  
douglas.pappis@uni-kassel.de



**M.Sc. Andressa Colvero Schittler (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6563  
schittler@gast.uni-kassel.de



**Dipl.-Ing. Cong Shen (e<sup>2</sup>n)** DAAD-Stipendiat  
Tel.: 0561 804 6432  
cong.shen@gast.uni-kassel.de



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



**M.Sc. Leon Thurner (e<sup>2</sup>n)**  
Tel.: 0561 804 6377  
leon.thurner@uni-kassel.de



**M.Sc. Marita Wendt (EVS)**  
Tel.: 0561 804 6510  
marita.wendt@uni-kassel.de

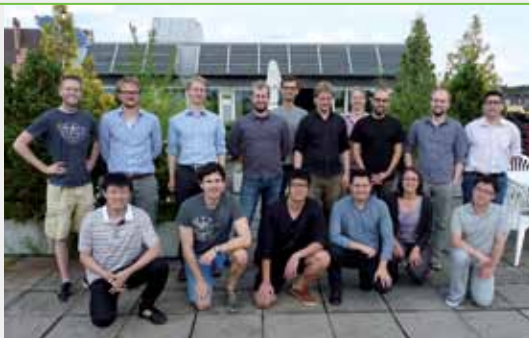


**Jörg Wiederrecht (FAST)**  
Tel.: 0561 804 6524  
wie@uni-kassel.de

## IMPRESSIONEN 2013 / 2014



Weihnachtsfeier 2013



Doktorandenseminar vom 06. August 2014



Zissel 2013



„Hausband“





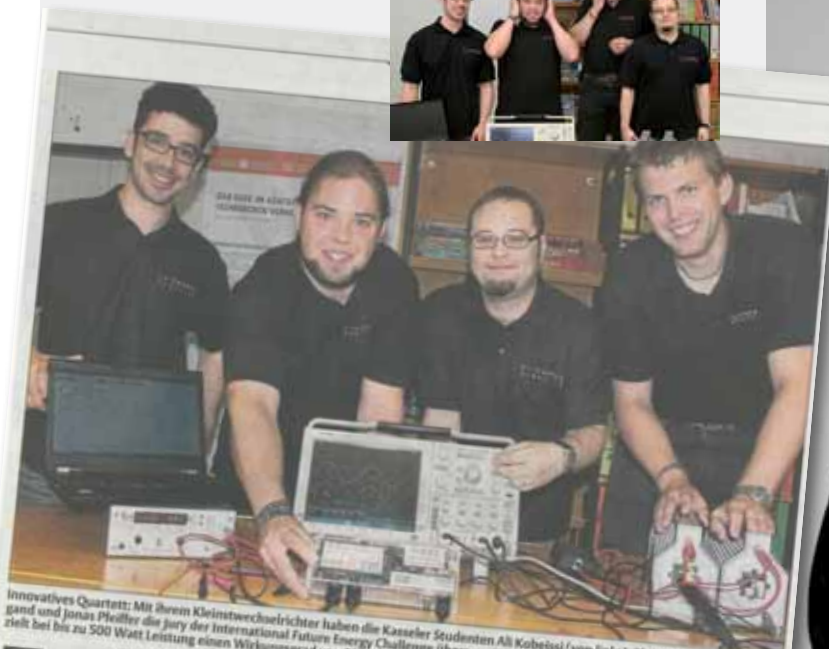
## IMPRESSIONEN 2013 / 2014



Disputation Michael Heeb



## IEEE Future Energy Challenge



Innovatives Quartett: Mit ihrem Kleinsteuwechselrichter haben die Kasseler Studenten Ali Kobeissi (von links), Philipp Jäger, Dennis Wiegand und Jonas Pfeiffer die Jury der International Future Energy Challenge überzeugt. Der Mikroinverter hat 1,2 Liter Volumen und erzielt bei bis zu 500 Watt Leistung einen Wirkungsgrad von 93 Prozent.

## Technik im Taschenformat

Kasseler Studenten haben mit Kleinsteuwechselrichter internationalen Preis gewonnen

Von Sebastian Schmitt

KASSEL. Vier Kasseler Studenten haben mit einem selbst entwickelten, kompakten Wechselrichter für Photovoltaikanlagen in den USA einen internationalen Innovationspreis zum Thema Zukunft der Energie gewonnen. Das Quartett, bestehend aus den Elektrotechnik-Studenten Philipp Jäger, Ali Kobeissi, Jonas Pfeiffer sowie Dennis Wiegand (Mechatronik), setzte sich im Finale der International Future Energy Challenge gegen sieben studentische Teams aus Amerika, Asien und Europa durch. Der Preis ist mit 3000 Dollar (2240 Euro) dotiert. Ziel des Wettbewerbs war, einen möglichst kostengünstigen, kompakten und effizienten Kleinsteuwechselrichter für Solarmodule zu entwickeln. Wechselrichter wurden benötigt, um Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln. Die angehenden Ingenieure aus Kassel haben der Jury in Columbus/Ohio ein Gerät vorgestellt, das sich in großen Stückzahlen für weniger als hundert Euro herstellen ließe, mit 1,2 Liter Volumen etwa der Größe einer Mikrowelle entspricht und 99 Prozent Wirkungsgrad bei bis zu 500 Watt Leistung erzielt. Während große Wechselrichter in der Regel an etwa zehn Solarmodule angeschlossen werden, versorgt sich der neu entwickelte Mikroinverter mit nur einem, maximal zwei Modulen. Daraus ergeben sich Vorteile: „Weil jeder Kleinsteuwechselrichter nur ein Modul zugeordnet wird, entfällt die Gleichstromverkabelung, und alle Module können stets an ihrem optimalen Leistungspunkt betrieben werden“, sagt Christian Felgenmayer, der wissenschaftliche Mitarbeiter am Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme hat die Studenten im Vorfeld des Wettbewerbs unterstützt. Mehr als ein Jahr Entwicklungsarbeit haben die vier Studenten in den Kleinsteuwechselrichter investiert – und dadurch unbezahlbare Erfahrungen gesammelt. „Die Teilnahme an so einem Wettbewerb ist schon allein deshalb eine tolle Erfahrung, weil wir das Erlernen aus den Vorlesungen in die Praxis umsetzen können“, sagt Ali Kobeissi (24). Für die Zeichnung nach dem Gewinn des Innovationspreises 2011 ein weiterer großer Erfolg.



Christian Felgenmayer

### Zum Fach

Das Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme unter der Leitung von Prof. Peter Zacharijs gehört zum Fachbereich Elektrotechnik/Informatik mit 1660 Studenten. (rud)



## IMPRESSIONEN 2013 / 2014



Messe in Witzenhausen „Technik zum Anfassen“, 2014





## IMPRESSIONEN 2013 / 2014



Zeugnisübergabe



Betriebsausflug auf der Fulda





**[www.kdee.uni-kassel.de](http://www.kdee.uni-kassel.de)**  
**[www.evs.uni-kassel.de](http://www.evs.uni-kassel.de)**  
**[www.e2n.uni-kassel.de](http://www.e2n.uni-kassel.de)**



Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE)

Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS)

Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e<sup>2</sup>n)

Universität Kassel  
Wilhelmshöher Allee 71

34121 Kassel, Germany

EVS: Tel. +49 561 804 6344  
[www.evs.uni-kassel.de](http://www.evs.uni-kassel.de)

e<sup>2</sup>n: Tel. +49 561 804 6201  
[www.e2n.uni-kassel.de](http://www.e2n.uni-kassel.de)

Stand: Februar 2015

