

EVS:

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

e²n:

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

AHT:

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

INES:

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

IMPRESSUM

Herausgeber:

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

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

www.kdee.uni-kassel.de

Sekretariate:

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

e²n: Tel. +49 561 804 6201 (Frau Nicole Schmidt)
E-Mail: e2n@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/eecs/eevs/e2n

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

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

Satz und Layout:

formkonfekt | konzept & gestaltung | Karen Marschinke | Kassel

Bilder:

Universität Kassel, iStockphoto

ZWEIJAHRESBERICHT 2017/2018

INHALTSANGABE

	FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN e²n	55	
Vorwort	4	Das Fachgebiet e ² n	56
Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energiespeisungstechnik (KDEE)	9	NETZ:KRAFT	58
Würdigung von Dr. Thiemo Kleeb	14	SysDL 2.0	60
Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST)	15	Netzregelung 2.0	61
Forschungskooperationen 2017/ 2018	16	ANaPlan	62
ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	19	PrIME	64
IEEE PES German Chapter Workshop	20	SimBench	65
SysDL 2.0	21	SmartGridModels	66
EPE 2017	22	pandapower	67
ASGC4 In Phitsanulok	23	OpSim / OpSimEval	68
F&E PROJEKTE	25	Microgrid Labor	70
Vorwort	26	Einfluss von Photovoltaikanlagen auf die Kurzzeit-Spannungsstabilität	71
FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN EVS	29	Multi-Resilience – Resilience in ICt-based Multimodal Energy Distribution Systems	72
Das Fachgebiet EVS	30	RPC2	73
NR2-RPC	32	Integration einer Industrie-Leitwartensoftwar	74
HELENE	33	EU SysFlex	75
PVKraftwerke2025	34		
Hybrid- und Luftspulen	35		
Flip	36		
E ² COGaN	38		
Phd Project	40		
Umrüstung eines Boots	42		
F & E – Steuerbare Magnetische Bauelemente	43		
Nutzung nichtlinearer Magnetischer Effekte	44		
Vermessung und Charakterisierung von Elektroband	46		
Automatisierte Kommutierungszelle	47		
Transienter Stromsensor	48		
Laborinfrastruktur: Elektrische Charakterisierung	49		
Laborinfrastruktur: Thermische Charakterisierung	50		
2018 IEEE International Future Energy Challenge	52		
Buchveröffentlichung "Magnetische Bauelemente"	53		
		FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN AHT	77
		Das Fachgebiet AHT	78
		Entwicklung eines Messsystems zur Detektion von Stoßströmen	80
		Doublelayer	81
		Elektrische Isolatoren	82
		Smart Gel	83
		Fieseler Storch Flugsimulator	84
		Varistor-Kennlinien Prüfstand	85
		Monitoring von Hochspannungsfreileitungen	86
		Satelliten-Navigation	88
		Laborausstattung	90
		FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN INES	93
		Das Fachgebiet INES	94
		Kopernikus ENavi: Systemintegration	96
		Enavi Arbeitspaket 9: Digitalisierung und IKT	97

Enavi Arbeitspaket 8: Integration der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr	98	Leon Thurner: Structural Optimizations in Strategic Medium Voltage Power System Planning	114
LiMeS – Optimierung Von Lidar-Basierten Messstrategien	99	Artjom Gruber: Vergleich von Halbleitertechnologien und Schaltungstopologien zur Realisierung von Wechselrichtern für den Einsatz in Photovoltaiksystemen mit 1500V Systemspannung	115
Ökonomischer Rückkopplungsmechanismus	100	Cong Shen: Bottom-Up Network Restoration Based on Distributed Generation	116
Kraftsteuerung in einem „E-Rowboat“	101	Martin Kopp: Strommarktseitige Optimierung des Betriebs einer Pem-Elektrolyseanlage	117
ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN	103	Elisabeth Drayer: Resilient Operation of Distribution Grids with Distributed-Hierarchical Architecture	118
Milena Dias: Discrete Time Sliding Mode Control Strategies Applied To A Multiphase Brushless Dc Machine	104	Jan Von Appen: Sizing and Operation of Residential Photovoltaic Systems in Combination with Battery Storage Systems and Heat Pumps	119
Frey Alberto Florez Alzate: Charakterisierung, Modellierung und Implementierung des TSO-Sicherheitsablaufs und seiner Anwendung in der operativen Planung von großen erneuerbaren Ressourcen	105	Juliane Alickovic eine Hinze: Maximierung der Leistungsdichte von selbstgeführten hochfrequenten Energiewandlern auf Basis ultraschneller Wide-Bandgap Bauelemente	120
Martin Shan: Load Reducing Control for Wind Turbines: Load Estimation and Higher Level Controller Tuning Based on Disturbance Spectra and Linear Models	106	Dirk Fetter: Development of a Matlab/Simulink Framework for Phasor-based Power System Simulation and Component Modeling Based on State Machines	121
Xiaoyan Tang: Experimentelle Untersuchung der elektrischen Festigkeit am Randbereich der Steuerbeläge in trockenen papierfreien HV-Durchführungen	107	Julie Paye: Durchschlagmechanismen von induktiven Datenkopplern unter Hochspannung	122
Ammar Salman: Daten-Erfassungssysteme und deren Anwendung in der Elektrotechnik – Blindleistungs-Spannungsregelung zur optimierten Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen in das Stromversorgungssystem	108	DOKUMENTATION	125
Johannes Prior: Testverfahren zur Bestimmung des elektrischen Verhaltens von Batteriesystemen in Elektrofahrzeugen	109	Aktuelle Abschlussarbeiten 2017 / 2018 EVS	126
Dominik Schledde: Modellbasierte Identifikation von physikalischen Parametern zur Bestimmung der Veränderung charakteristischer Eigenschaften einer C/NMC Lithium-Ionen-Zelle durch Alterungsmechanismen zur Anwendung in Batteriemanagementsystemen	110	Aktuelle Abschlussarbeiten 2017 / 2018 e ² n	130
Christian Felgemacher: Investigation of Reliability Aspects of Power Semiconductors in Photovoltaic Central Inverters for Sunbelt Regions	111	Aktuelle Abschlussarbeiten 2017 / 2018 AHT	132
Miguel Fernando López Garcia: Modelling and Experimental Testing of an Innovative Sabatier Reactor for a Power-To-Gas Plant	112	Aktuelle Abschlussarbeiten 2017 / 2018 INES	136
Ron Brandl: Entwicklung einer Power Hardware-in-the-Loop-fähigen Echtzeit-Validierungsumgebung zur Stabilitätsuntersuchung von elektrischen Netzen	113	Publikationen 2017 / 2018	137
		MITARbeiterinnen und Mitarbeiter	145
		IMPRESSIONEN	153
		Freizeitaktivitäten, Gruppenfotos und Veranstaltungen	154

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. Seitdem vollzog sich zunächst mit dem Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) eine gemeinsame Entwicklung. Diese Entwicklung wurde mit der Berufung von Prof. Dr.-Ing. Martin Braun im Jahr 2012 durch das Fachgebiet „Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze“ (e²n) und 2015 mit Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi (Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik, AHT) und Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann (Fachgebiet Integrierte Energiesysteme, INES) ergänzt, um den Forschungsschwerpunkt Energiesystemtechnik in Nordhessen zu stärken.

Die Themen „Nutzung erneuerbarer Energiequellen“ und „Schonung von Ressourcen durch Effizienzsteigerung“ sind aktueller denn je. Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung sind treibende Kräfte in der Transformation der Energiesysteme.

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

Der Zubau von dezentralen Elektroenergieerzeugern konnte bis ins Jahr 2010 wegen des noch relativ geringen Anteils bei flächiger Verteilung kaum wirkliche negative Auswirkungen haben. Durch die hohe Wachstumsrate beim Zubau dezentraler Energieeinspeiser hat sich diese Situation grundlegend geändert. Die häufig in der Öffentlichkeit durchgeführte Betrachtung von kumulierten Werten führt hier im Einzelfall nicht zu sinnvollen Lösungen. Verbrauch und Einspeisung von Energie in das elektrische Netz sind sowohl räumlich als auch zeitlich weitgehend unkorelliert. Gleichzeitig ist das Verbundnetz keine „kurze Kupferplatte“, sondern bildet ein „flächhaftes“ 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 und Systemkomponenten bis zu Fragen der Netzregelung, Qualitätssicherung und damit der technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Auslegung und Regelung dezentraler Energiesysteme in der Verantwortung.

Im Kontext der Digitalisierung spielen Open Source, Plattformen und künstliche Intelligenz eine wichtige Rolle, die auch am KDEE einen Schwerpunkt darstellen. Am KDEE wurde gemeinsam mit dem Fraunhofer IEE mit pandapower (www.pandapower.org) eine inzwischen weit verbreitete neue Open Source Plattform für Netzberechnungen und Netzausbauoptimierungen entwickelt und damit ein Grundstein für verschiedene Softwarelösungen zur Netzanalyse und Netzausbauoptimierung geschaffen. Der zunehmend relevante Plattformgedanke wird auch durch die Co-Simulationsumgebung OpSim (www.opsim.net) für die Analyse der Wechselwirkung von Softwarekomponenten in komplexen Energiesystemen fortgeführt. Neben klassischen Methoden der Optimierung werden auch Methoden der künstlichen Intelligenz für zahlreiche Bereiche elektrischer Netze (z.B. Modellbildung, Analyse, Zustandsschätzung, Planung, Betriebsführung) weiterentwickelt.



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



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



**Prof. Dr.-Ing.
Albert Claudi**



**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann**

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

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

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

Das KDEE ist durch personelle Verknüpfung der Fachgebiete e²n und INES mit dem Fraunhofer IEE 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 KDEE fühlen sich der weiteren Stärkung der Zusammenarbeit der Universität Kassel mit anderen wissenschaftlichen Institutionen wie dem Fraunhofer IEE und Wirtschaftspartnern sowie der internationalen Sichtbarkeit ihrer Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet nachhaltiger Energieversorgung verpflichtet und danken ihren Förderern und Kooperationspartnern auf das Herzlichste.

P. Zacharias M. Braun

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 2012 with the appointment of Prof. Dr.-Ing. Martin Braun as head of the Department of Energy-Management and Power System Operation (e^2n) and 2015 with Prof. Dr.-Ing. Claudi (Department of Systems and High Voltage Technology, AHT) and Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann (Department of Integrated Energy Systems, INES) to strengthen the focus of power engineering research in northern Hesse.

Topics around the utilization of renewable energy sources and the conservation of resources through an increase in efficiency are more relevant than ever. Decarbonization, decentralization and digitization are decisive driving forces in the transformation of energy systems.

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

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

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

In the context of digitization, open source platforms and artificial intelligence play an important role, which is also a focus at KDEE. At KDEE, together with Fraunhofer IEE, pandapower has been developed (www.pandapower.org), a now widely used new open source platform for network calculation and optimization, thus laying the foundations for various software solutions for network analysis and network optimization. The increasingly relevant platform concept is also pursued with the co-simulation environment OpSim (www.opsim.net) for the analysis of the interaction of software components in complex energy systems. In addition to classical methods of optimization, methods of artificial intelligence for many areas of electrical networks (such as modeling, analysis, state estimation, planning, operation) are further developed.



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



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



**Prof. Dr.-Ing.
Albert Claudi**



**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann**

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

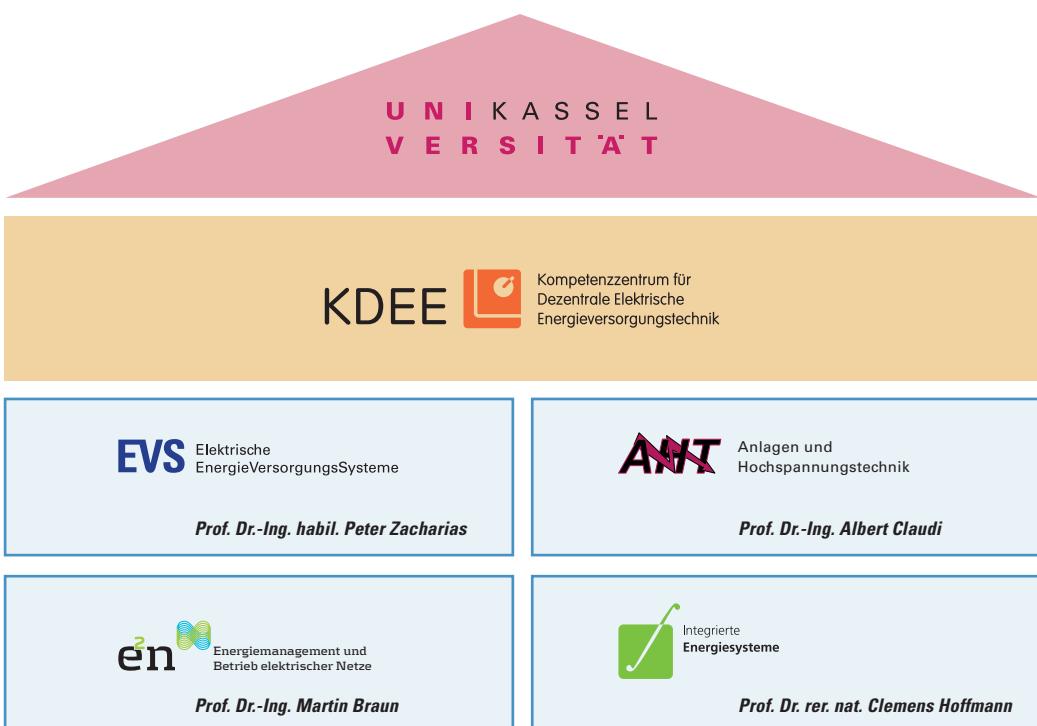
Therefore, the noticeable trend of increasing interest of students to study power engineering is promising. It is also to be noted at this occasion, that a higher proportion of students than previously continue in the Master program. By KDEE are addressed many classic and new power supply related themes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

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

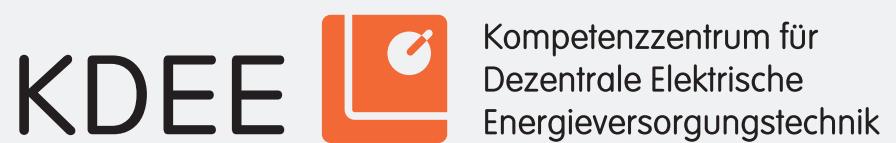
The KDEE is in close collaboration with the Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology IEE through personal linkages with the department e²n and INES. This allows the competences of the leading regional research institutions in the topic area of decentralized electrical energy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

Staff and students of KDEE are committed to further strengthen the cooperation of the University with other academic institutions such as the Fraunhofer IEE as well as 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 der Universität Kassel und des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) befinden sich die vier Fachgebiete EVS, e²n, AHT und INES



Ansprechpartner

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

Titel

KOMPETENZZENTRUM FÜR DEZENTRALE ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNGSTECHNIK (KDEE)



Lehre und Forschung im **Fachgebiet Elektrische EnergieVersorgungsSysteme (EVS)**

unter der Leitung von Prof. Zacharias sind ausgerichtet auf Anlagen und Systeme zur elektrischen Energieversorgung sowie auf die Entwicklung leistungselektronischer Bauelemente und Baugruppen für solche Systeme. Sie umfassen

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

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

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

Forschungsthemen

- Strukturelle Untersuchungen zu Versorgungssystemen und zur Energiewandlung
- Entwicklung von Einheiten zur Energieaufbereitung und deren Integration in Versorgungsnetze
- Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Regelung, Leistungsaufbereitung, Netzbildung und zum Energiemanagement elektrischer Energieversorgungs- und Energiespeichersysteme
- Untersuchungen und Simulationen zum stationären und dynamischen Komponenten- und Anlagenverhalten,
- Entwicklung von Wandlersystemen – 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 direction of Prof. Zacharias are focused on subsystems and systems for electrical power supply and on development of power electronic components and devices for such systems. These include especially the development of methods to use renewable energy sources (e.g. solar energy, small-hydro power, biogas and wind) and power electronic converters for mobile applications.

One focus of basic research is modeling the behavior of magnetic devices based on new ferromagnetic materials. Another is hybrid power supply of drive systems based on several power sources.

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

Main emphasis

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



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

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

Forschungsthemen

- 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*

AHT



Die Hochspannungstechnik ist eine Schlüsseltechnologie der Energietechnik. Hohe elektrische Feldstärken treten in Medien der Übertragungs- und Verteilnetze auf, zumeist in den klassischen Systemen wie Transformatoren, Leitungen und Schaltgeräten. Aber zu ähnlich hohen und zum Teil höheren Feldstärken kommt es auch in Leistungshalbleitern und leistungselektronischen Baugruppen wie zum Beispiel in IGBTs. Erneuerbare Energiequellen wie Wind- und PV-Anlagen werden aufgrund der höheren Leistungen mit immer höheren Spannungen betrieben. Nicht zuletzt stellt die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) eine Alternative zur Drehstromübertragung dar, die neue Herausforderungen an Isolierstoffe und deren Zuverlässigkeit stellt.

Das **Fachgebiet Anlagen- und Hochspannungstechnik (AHT)** ist mit rund 20 Mitarbeitern, Doktoranden und Lehrbeauftragten anwendungsorientiert ausgerichtet und verfügt über eine ausgezeichnete experimentelle Ausstattung. Zwei Hochspannungslabore stehen für die Lehre und Forschung zur Verfügung. Alle Forschungsprojekte finden in enger Kooperation mit Industrieunternehmen statt unter Einbezug der Abschlussarbeiten von Studierenden.

Prof. Claudi leitet das Fachgebiet AHT seit dem Jahr 2000. In der Lehre unterstützen einige externe Dozenten das Fachgebiet seit vielen Jahren. Die Vorlesung „Blitz und Überspannungsschutz“ von Herrn Dr. Finis, Phönix Contact, erfreut sich ebenso großer Beliebtheit wie die Lehrveranstaltung „Lichttechnik“, die von Frau Dr. Vandahl, Herrn Gielsdorf und Herrn Winter durchgeführt werden.

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

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



Das **Fachgebiet Integrierte Energiesysteme (INES)** erforscht unter der Leitung von Prof. Hoffmann die Transformation bestehender Energieversorgungssysteme auf zwei wesentlichen Themenfeldern, nämlich dem der Energiewirtschaft und dem der Energiesystemtechnik.

Diese Kernthemen des Fachgebiets werden auf dem theoretischen Fundament der am Fachgebiet aufgebauten Systemtheorie der Energiewende bearbeitet.

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

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

The department of Integrated Energy Systems (INES), under the direction of Prof. Hoffmann, explores the transition of existing energy systems having two research areas: Energy Economics and Energy System Technology. The research within the two fields is grounded in the concepts of "Systems Theory of the Energy Transition" put forward by INES.

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

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

Titel

NACHRUF AUF DR. THIEMO KLEEB

title

OBITUARY FOR DR. THIEMO KLEEB

Im Oktober 2017 ist plötzlich und für alle unerwartet Dr. Thiemo Kleeb verstorben.

Dr. Thiemo Kleeb wurde am 31.07.1982 in Darmstadt geboren, wo er auch seine schulische Ausbildung absolvierte. Sein Abitur erhielt er 2002 an der Berthold-Brecht-Schule.

Nach seinem Wehrdienst im Panzerbataillon 363 Künsheim begann er mit dem Studium der Elektrotechnik 2003 an der TU Darmstadt. Dieses Studium mit dem Schwerpunkt Leistungselektronik und Elektrische Maschinen und Antriebe beendete er 2009 als Diplomingenieur. Seit 2010 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Elektrotechnik / Informatik im KDEE/EVS. Neben den Eigenschaften leistungselektronischer Wandler galt sein Interesse vor allem deren parasitären Eigenschaften und den Eigenschaften und der Konstruktion passiver Schaltungskomponenten sowie Maßnahmen zur Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit. 2015 wurde er für die Arbeit "Investigation on Performance Advantage of Functionally Integrated Magnetic Components in Decentralised Power Electronic Applications" zum Dr.-Ing. promoviert. Er konzentrierte sich danach auf die Entwicklung von Themen und Projekten der Grundlagenforschung am KDEE und unterstützte mit Hingabe Mitarbeiter und Studenten.

Dr. Kleeb hinterlässt eine große menschliche und fachliche Lücke in unserem Team. Wir verloren mit ihm einen angesehenen Spezialisten auf dem Gebiet der magnetischen Bauelemente in der Leistungselektronik.



In October 2017 suddenly and unexpectedly Dr. Thiemo Kleeb passed away.

Dr. Thiemo Kleeb was born on 31.07.1982 in Darmstadt, where he completed his school education. He received his Matura in 2002 at the Berthold Brecht School.

After his military service at the tank battalion 363 Künsheim he began to study electrical engineering in 2003 at the TU Darmstadt. He completed his studies in 2009 with a focus on power electronics and electrical machines and drives as a graduate engineer. Since 2010 he had been a research assistant in the Department of Electrical Engineering/Computer Science at KDEE/EVS. In addition to the properties of power electronic converters, he was particularly interested in their parasitic properties and the properties and construction of passive components as well as measures to improve the electromagnetic compatibility. In 2015, he was appointed to Doktor-Ingenieur (PhD) with the thesis "Investigation on Performance Advantage of Functionally Integrated Magnetic Components in Decentralized Power Electronic Applications". Then he focused on the development of basic research topics and projects at KDEE and supported with dedication employees and students.

Dr. Kleeb leaves a large human and technical gap in our team. We have lost a respected specialist in the field of magnetic components in power electronics.

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

DIE FACHGEBIETE DES KDEE SIND EBENFALLS MITGLIEDER DES FORSCHUNGSVERBUNDES FAHRZEUGSYSTEME (FAST)

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

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

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

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



title

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



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

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

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

In a lecture series entitled "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 audiences 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 Instituten und Fachgebieten aus der Universität Kassel heraus zusammen mit dem Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IIE) gerätetechnische Lösungen für die NetzinTEGRATION von Erneuerbaren Energiequellen. Dies wird auch durch eine personelle Verknüpfung erreicht. So ist Prof. Dr. rer. nat. Hoffmann gleichzeitig Direktor des Fraunhofer Instituts IEE in Kassel, während Prof. Dr. Martin Braun Abteilungsleiter Betrieb Verteilungsnetze am Fraunhofer IEE ist.

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

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

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

Together with the Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IIE), the KDEE develops together with other institutes and departments of the University of Kassel device-related solutions for the grid integration of renewable energy sources. This is also achieved by a personal link. For example, Prof. Dr. rer. Nat. Hoffmann is acting also as director of the Fraunhofer Institute IEE in Kassel, while Prof. Dr. Martin Braun is Head of the Division of Distribution Networks at Fraunhofer IEE.

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

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

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

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



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



Forschungsverbund Fahrzeugsysteme (FAST)

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

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

Nationale und Internationale Kooperation

Eine Präsenz in den folgenden Organisationen ist bereits vorhanden:

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

National and international cooperations

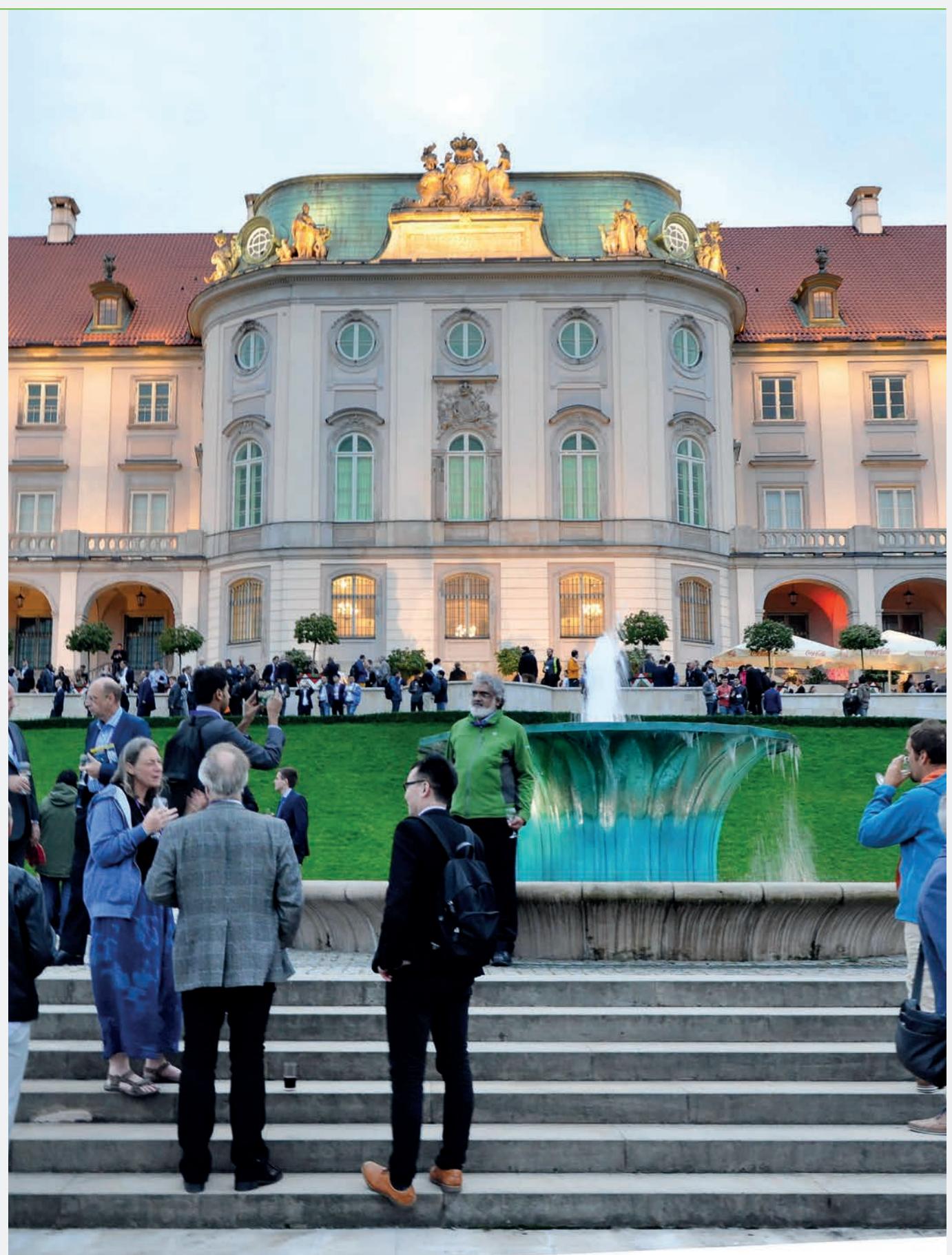
The association with the following organizations is already working:

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



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

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



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN (e^2n)

Titel

IEEE PES GERMAN CHAPTER WORKSHOP STABILE NETZE MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN 26.9.2018 IN KASSEL

title

IEEE PES GERMAN CHAPTER WORKSHOP STABLE GRIDS WITH RENEWABLE ENERGIES 26.9.2018 IN KASSEL



Diskussionen auf dem Workshop
Discussions during the workshop

Erneuerbare Energien haben sich als wichtige Säulen der Stromversorgung in Deutschland etabliert. Inzwischen liegt der energetische Beitrag bei über 30 % und der leistungsbezogene Beitrag zeitweise in Deutschland bei fast 100 %. Damit wird es zunehmend wichtig, dass auch Erneuerbare Energien stabilitätsrelevante Beiträge liefern. In den letzten Jahren lag der Untersuchungsfokus v. a. bei der Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Spannungsregelung, Frequenzregelung, Engpassmanagement/Redispach) sowie grundlegender Beiträge der Stromregelung dezentraler Anlagen zur Spannungs- und Frequenzhaltung.

Inzwischen werden die VDE FNN Anwendungsregeln zum Anschluss von erneuerbaren Energien, Speichersystemen und Lasten überarbeitet, um weiterreichende Anforderungen an das Verhalten zur Sicherstellung der Systemstabilität umzusetzen. Ein wichtiger Ansatzpunkt für eine zukünftige Netzregelung ist dabei eine spannungseinprägende Regelung von Stromrichtern.

Im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukünftige Stromnetze“ wurde in Forschungsprojekten die Systemdienstleistung Netzwiederaufbau mit Einsatz erneuerbarer Energien untersucht. Ergebnisse aus diesen Forschungsprojekten wurden vorgestellt und diskutiert.

Experten der Energiebranche wurden zusammengebracht, um über die genannten Herausforderungen zu diskutieren, Lösungsansätze aufzuzeigen und Handlungs- bzw. Forschungsbedarf zu identifizieren. Der Workshop wurde durch Vorträge von Vertretern der Netzbetreiber, der Hersteller und der Wissenschaft begleitet.

Renewable energies represent a significant part of the power supply in Germany. The energy contribution of these energies is more than 30 % and the power contribution can reach almost 100 % for certain periods in Germany. Hence, it is increasingly important for renewable energies to participate in the provision of ancillary services. In recent years, the focus of research was especially in the provision of system services (voltage control, frequency control, congestion management/re-dispatch) as well as fundamental contributions of the current regulation of decentralized systems for voltage and frequency maintenance.

In the meantime, the VDE FNN technical requirements for renewable energy resources, storage systems and loads are being revised in order to consider improved requirements to ensure system stability. An important starting point for future grid control is the grid-forming behavior of converters.

Within the scope of the research program "Zukünftige Stromnetze" ("future grids"), the ancillary service to support power system restoration using renewable energy resources was investigated in research projects, whose results were presented and discussed at the workshop.

Experts from the energy sector were brought together to discuss the aforementioned challenges, to point out solutions and to identify the needs for policy actions and research. The workshop was accompanied by presentations from representatives of network operators, manufacturers and academia.

Ansprechpartner

DR.-ING. NILS BORNHORST; ZHENG LIU, M.SC. (e²n)

Titel

**SYSDEL 2.0: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN AUS
FLÄCHENVERTEILNETZEN
(ANFANG 2018 ABGESCHLOSSEN)**

title

**SysDL 2.0: SYSTEM ANCILLARY SERVICES
FROM DISTRIBUTION GRIDS
(COMPLETED IN EARLY 2018)**



Das Projekt SysDL 2.0 wurde durch das International Smart Grid Action Network (ISGAN) mit dem „Award of Excellence 2018“ ausgezeichnet.

Das International Smart Grid Action Network (ISGAN) hat den Wettbewerb „Award of Excellence“ zur Anerkennung der weltweiten Spitzenleistung in Smart-Grid-Projekten, -Politiken und -Programmen geführt. ISGAN bringt 24 Länder aus fünf Kontinenten und die europäische Kommission zusammen, um die Entwicklung sowie den Einsatz intelligenter, sauberer und flexiblerer Stromnetze auf der Welt voranzutreiben. Der ISGAN „Award of Excellence“ sucht Führungserfahrungen und Innovationen in intelligenten Stromnetzen zur Beschleunigung des weltweiten Austauschs bewährter Praktiken. Eben wird die Replikation oder die Anpassung bewährter Konzepte in anderen Märkten, Ländern und Regionen gefördert. Durch die Bereitstellung der Schaufenster in der globalen Smart-Grid-Community lenkt der Award die Aufmerksamkeit auf den Wert der intelligenten Stromnetze.

Weitere Informationen zu „Award of Excellence 2018“, unter
www.iea-isgan.org/awards/isgan-awards-2018

The project SysDL 2.0 won the “Award of Excellence 2018” by the International Smart Grid Action Network (ISGAN).

The International Smart Grid Action Network (ISGAN) launched the Award of Excellence competition to recognize excellence in smart grid projects, policies and programs around the world. ISGAN brings together 24 countries from across five continents and the European Commission to advance the development and deployment of smarter, cleaner, and more flexible electricity grids around the world. The ISGAN Award of Excellence seeks to leverage leadership and innovation in smart grids to accelerate global exchange of best practice and promote replication or adaptation of proven concepts in other markets, countries, and regions. By providing a showcase for exemplars in the global smart grid community, the Award also draws attention to the value offered by smart grid systems.

For further information on „Award of Excellence 2018“, please visit
www.iea-isgan.org/awards/isgan-awards-2018

 The image shows the ISGAN Award of Excellence logo at the top left. To its right is a list of five award winners with their descriptions:

- Smart Grid Demonstration Project**
Korea Electric Power Corporation (Korea)
- Smart Operator – Efficient control and monitoring of the low voltage grid**
Innogy SE (Germany)
- SysDL 2.0 – Ancillary services from large-area distribution grids**
DREWAG NETZ GmbH (Germany)
- Local Energy System with Customer Flexibility**
E.ON Energidistribution AB (Sweden)
- OpenADR4Chile**
Enel SpA (Italy)

 Below this is another section with the ISGAN logo and the text "Instability Detector of the Gaspésie Regional Power System: DIR-Gaspésie (CGART-ALGORES) Hydro-Québec Research Institute (IREQ) (Canada)". At the bottom is the GSGF-award logo with the text "Recognizing the excellence of replication Local Energy System with Customer Flexibility E.ON Energidistribution AB (Sweden)".

Ansprechpartner

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

title

EUROPEAN CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS (EPE) 2017



Die European Conference on Power Electronics (EPE) fand 2017 in Warschau statt. Wie fast jedes Jahr nahmen Vertreter des Fachgebietes EVS an dieser Konferenz mit eigenen Beiträgen teil. Dieses Highlight im Wissenschaftsbetrieb der Leistungselektronik bietet die Möglichkeit, auf hohem Niveau mit internationalen Freunden und Kollegen Ideen und Informationen auszutauschen. Die Veranstaltung wurde dieses Mal von der Warsow University of Technology ausgerichtet. Der Palast für Kultur und Wissenschaft war ein würdevoller und eindrucksvoller Ort der Begegnung. Viele Teilnehmer kennen sich schon seit Jahren bzw. Jahrzehnten. Schwerpunkte der Veranstaltung waren Wide Band Gap (WBG) – Halbleiterbauelemente und ihre Anwendung in der Leistungselektronik. Vom FG EVS wurde das noch immer etwas vernachlässigte Gebiet der induktiven Bauelemente für hohe Schaltfrequenzen thematisiert, auf das sich das Fachgebiet seit 2005 konzentriert. Das Gala-Dinner in den Kubicki-Arkaden gab den Gesprächen einen besonders eindrucksvollen Rahmen.

Gala Dinner in den Kubicki
Arkaden in Warschau

Ansicht des Eingangsportals des
Warschauer Palasts für Kultur
und Wissenschaft



Prof. Dr. Leo Lorenz, Prof. Dr. Mariusz Malinowskim, Prof. Dr. Jacek Rabkowski und Prof. Dr. Leonids Ribickis eröffnen die Konferenz im Warschauer Kulturpalast.

Prof. Dr. Leo Lorenz, Prof. Dr. Mariusz Malinowskim, Prof. Dr. Jacek Rabkowski und Prof. Dr. Leonids Ribickis open the conference in Warsaw Culture Palace.

The European Conference on Power Electronics (EPE) 2017 was held in Warsaw. As in the course of the year, representatives of the EVS department attended this conference with their own contributions. This highlight in the scientific society of power electronics offers the opportunity to exchange ideas and information with international friends and colleagues at a high level. The event was hosted in 2017 by Warsow University of Technology. The Palace of Culture and Science was a dignified and impressive meeting place. Many participants have known each other for years or decades. The focus of the event was wide band gap (WBG) semiconductors and their application in power electronics. The EVS department addressed, inter alia, the still somewhat neglected area of inductive components for high switching frequencies, on which field EVS has been concentrating since 2005. The gala dinner in the Kubicki arcades gave the talks a special ambient.

Ansprechpartner

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

title

ASEAN SMART GRID CONGRESS (ASGC4) IN PHITSANULOK

Der ASEAN Smart Grid Congress (ASGC) ist ein wichtiges Forum in Südostasien, in dem sich Experten, Wissenschaftler und Fachleute für Smart-Grid -Technologie und -Politik jährlich treffen. Die Hauptziele des Kongresses sind die Zusammenführung von Experten aus verschiedenen Bereichen, um Ideen und das Wissen über die aktuelle Situation sowie die Erfordernisse eines intelligenten Netzes in den ASEAN-Ländern auszutauschen. Die 250 Teilnehmer waren versierte Forscher, Professoren, politische Entscheidungsträger, hochrangige Regierungsbeamte und Branchenexperten. Der Kongress hatte mehr als 200 Teilnehmer von internationalen und namhaften Referenten aus den Vereinigten Staaten, China, Japan, Österreich und ASEAN-Staaten. Die Naresuan University mi seiner School of Renewable Energy and SmartGrid Technology (SGtech) wurde mit einem internationalen Seminar ausgezeichnet. Prof. Zacharias war eingeladen, auf diesem Kongress im September 2018 in Phitsanulok/Thailand eine Key-Note zu halten. Es gibt eine langfristige Zusammenarbeit zwischen der Naresuan Universität Phitsanulok und der Universität Kassel.



Konferenzvortrag von Dr. Rakwichian

Conference presentation by Dr. med. Rakwichian



Feierliche Unterzeichnung eines Memorandum of Understanding durch Vertreter von Universitäten aus Thailand, Vietnam, Kambodscha, Myanmar, Laos, Vietnam, Indonesia, Phillipinen, Hawaii und Deutschland.

Solemn signing of a Memorandum of Understanding by representatives of universities from Thailand, Vietnam, Cambodia, Myanmar, Laos, Vietnam, Indonesia, Philippines, Hawaii and Germany.

ASEAN Smart Grid Congress (ASGC) is a primary forum in Southeast Asia for experts, scientists and professionals in smart grid technology and policy to meet annually. The main objectives of the congress are to bring together experts from various fields to share an idea and exchange the knowledge about the current situation as well as the need of smart grid in ASEAN countries. Among the 250 participants were researchers, teachers, policymakers, senior government officials and industry professionals. The congress had more than 200 participants internationals and distinguished speakers from United States, China, Japan, Austria and ASEAN countries. The Naresuan University's School of Renewable Energies and SmartGrid Technology (SGtech) have been designated to host an international seminar this time. Prof. Zacharias was invited to hold a keynote at this congress in September 2018 in Phitsanulok, Thailand. Since the 90ies, there has been long termed cooperation between Naresuan Phitsanulok University and the University of Kassel.



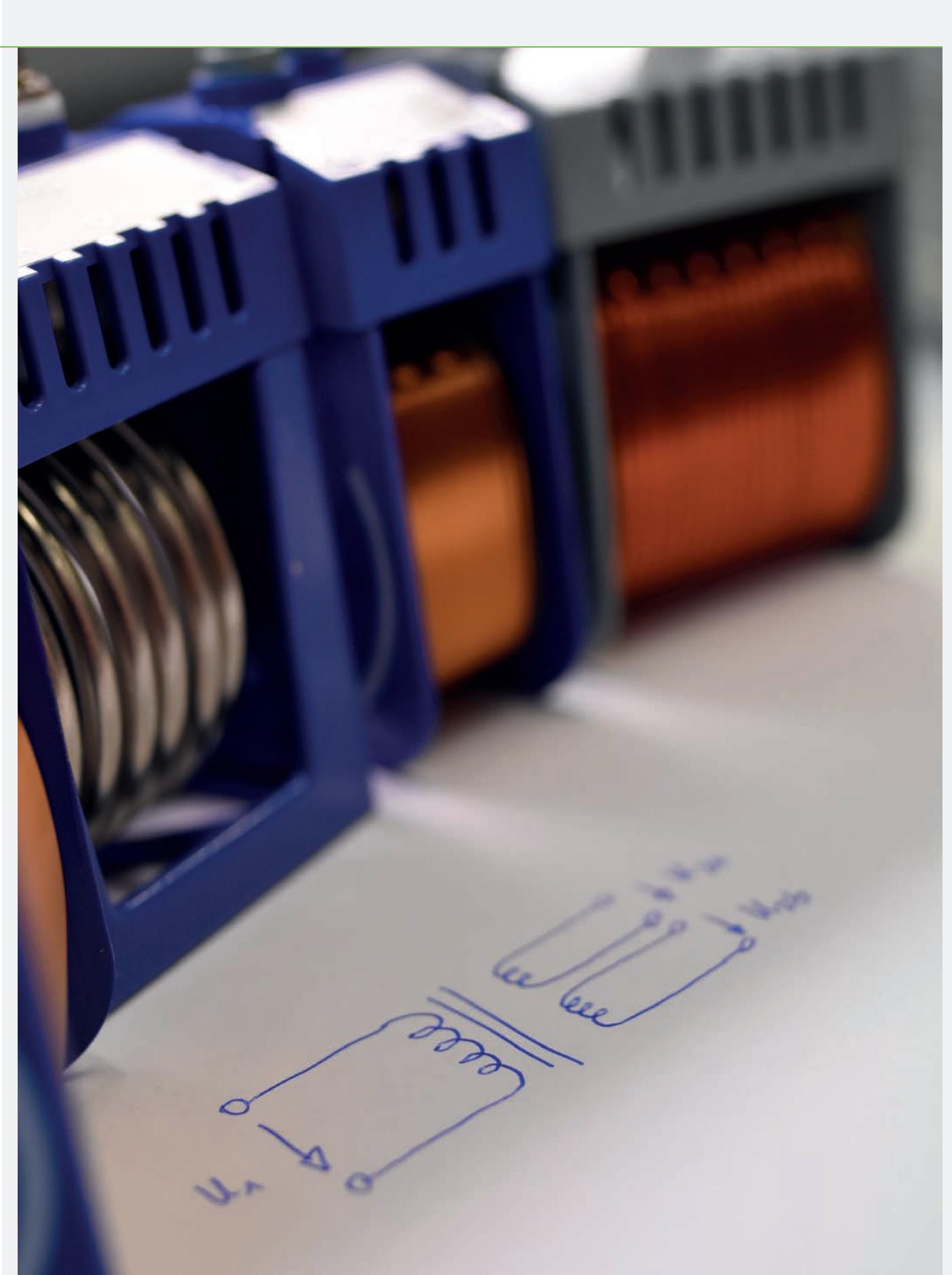
Futuristische Architektur auf dem SGTech Gelände der Naresuan Universität
Futuristic architecture on the SGTech grounds of Naresuan University



Eine Schlange am Eingang des Konferenzgebäudes
A snake at the entrance of the conference building



Exkursion zu einem nahen Windpark bei Phitsanulok
Excursion to a nearby Windpark near Phitsanulok



F&E PROJEKTE KDEE

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS



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



**Prof. Dr.-Ing.
Martin Braun (e²n)**



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



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

VORWORT FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

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

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

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

FOREWORD RESEARCH ACTIVITIES

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

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

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

Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Beispiel zur

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

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

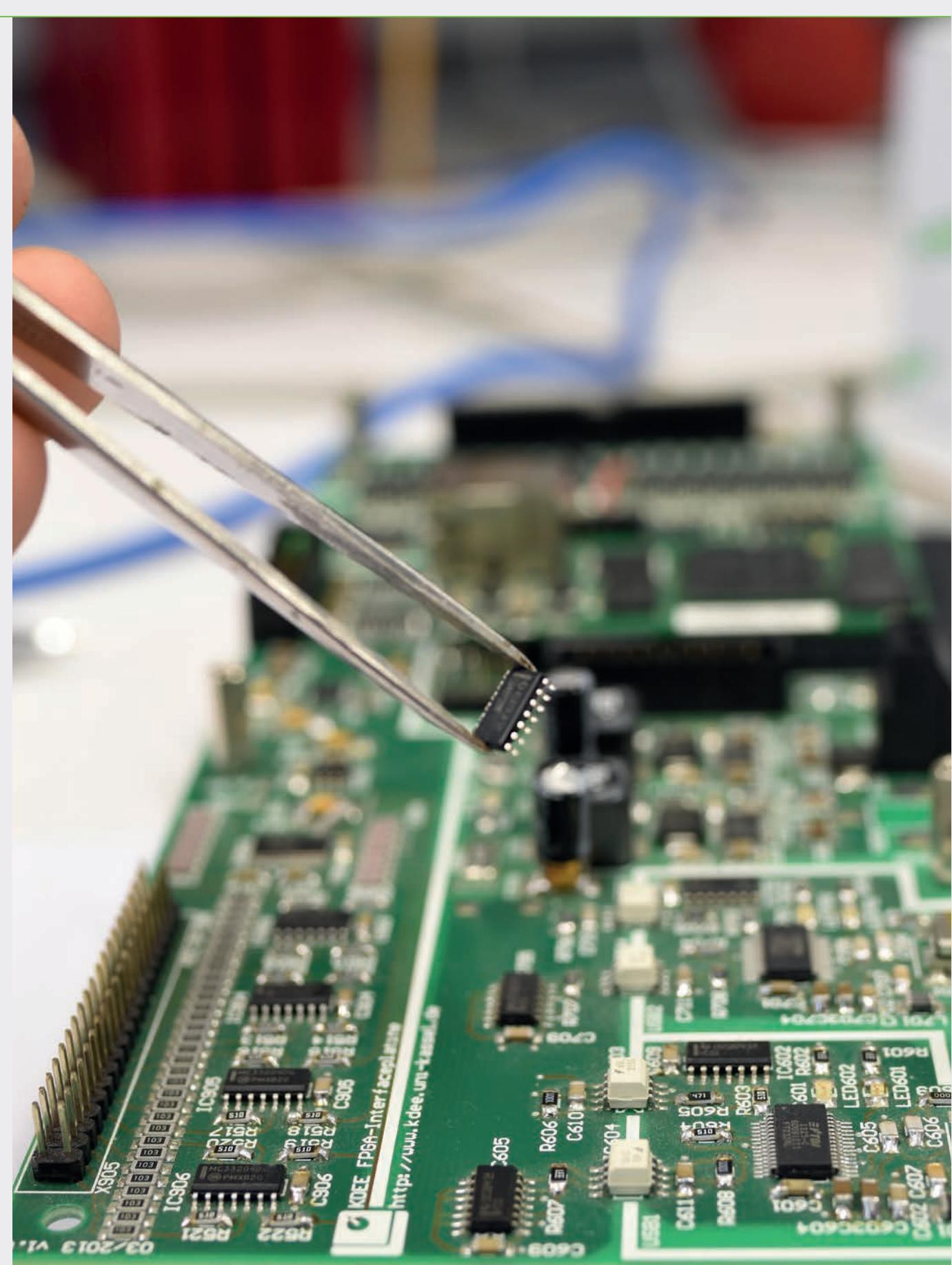
Leistungselektronische Einrichtungen sind die flexibelsten und die schnellsten Stellglieder für das Energiemanagement in derzeitigen und zukünftigen elektrischen Energienetzen. Ihre Konstruktion und Regelung erfordert spezielles Know-how, das am KDEE langfristig konzentriert und weiter entwickelt wird.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

Within the framework of research and development projects,

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

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

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



EVS

Elektrische
EnergieVersorgungsSysteme

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

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

title

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

EVS Elektrische EnergieVersorgungsSysteme

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

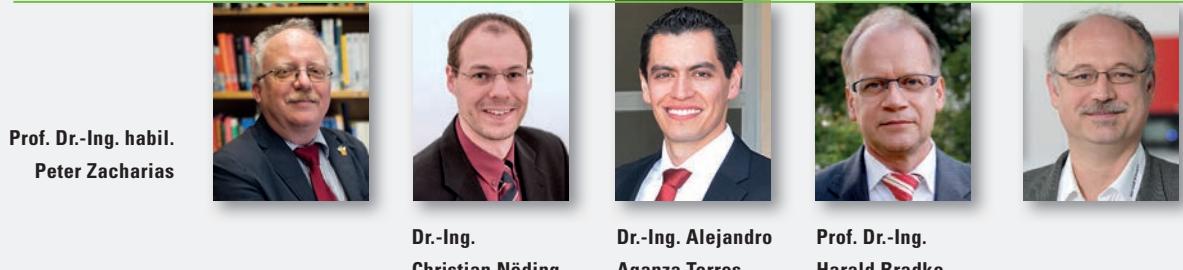
Prof. Zacharias ist verantwortlicher Leiter des Fachgebiets EVS. Dr.-Ing. Alejandro Aganza Torres hat seit Juli 2018 eine Habilitationsstelle als Nachfolger des am 12.10.2017 verstorbenen Dr.-Ing. Thiemo Kleeb im Fachgebiet inne, die durch die Kleinkauf-Stiftung für 5 Jahre finanziert wird. Er unterstützt die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei der Forschung an neuen magnetischen Bauelementen und fördert den wissenschaftlichen Gerätebau am EVS. Dr.-Ing. Christian Nöding lehrt als akademischer Rat im Bereich der Brennstoffzellen- und Windkrafttechnik. Er koordiniert zudem im operativen Geschäft organisatorisch und inhaltlich die Forschungsaufträge des Fachgebiets.

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

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

Prof. Zacharias is responsible for the department of EVS. Since July 2018 Dr.-Ing. Alejandro Aganza Torres holds a postdoctoral position in the department, which is financed by the Kleinkauf Foundation for 5 years, as successor of Dr.-Ing. Thiemo Kleeb, who deceased on 12.10.2017. He is researching in the field of new magnetic components and is supporting the construction of scientific equipment. Dr.-Ing. Christian Nöding teaches as an academic advisor in the field of fuel cells and wind power technologies. In addition, he coordinates the organisation and content of the research assignments of the department in the operative business.

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



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

**Dr.-Ing.
Christian Nöding**

**Dr.-Ing. Alejandro
Aganza Torres**

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

**Prof. Dr.-Ing.
Mike Meinhhardt**

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

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

Ansprechpartner

DIPL.-ING. FLORIAN FENSKE; MARC FASSHAUER, M.SC.

Titel

NEUARTIGE ROBUSTE STELLGLIEDER ZUM BLINDELISTUNGSMANAGEMENT IN VERTEILNETZEN (NR2-RPC)

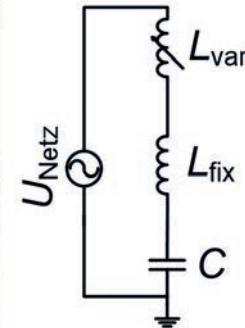
Dieses Bundesprojekt ist auf drei Jahre ausgelegt. Das Fachgebiet EVS arbeitet mit zwei Wissenschaftlern an dem Teilvorhaben „Entwicklung von neuartigen robusten Stellgliedern zum Blindleistungsmanagement in Verteilnetzen“. In dem Teilvorhaben wird die Entwicklung neuartiger Kompensationsanlagen mittels magnetischer Stellglieder betrieben.

Hintergrund des Projektes ist die Richtlinie zur Einspeisung von Blindleistung der Erneuerbaren Energien bei Einhaltung vorgegebener $\cos\varphi(P)$ -Kennlinien an den Anschlusspunkten. Diese Blindleistung kann einerseits zur Spannungs- und Blindleistungsregelung genutzt werden, wodurch mehr dezentrale erneuerbare Energieeinspeiser in ein bestehendes Netz integriert werden können. Andererseits darf sich eine Problemlösung im Verteil- und Niederspannungsnetz nicht in andere Spannungsebenen verschieben. Hierbei muss die Blindleistung lokal eingesammelt und kompensiert werden, um die Netzstabilität weiterhin zu gewährleisten. Hauptaugenmerk des Fachgebietes EVS liegt auf der Entwicklung einer regelbaren Induktivität. Energieversorgungsunternehmen sind an robusten Stellgliedern interessiert, die eine Lebensdauer von ca. 40 Jahren aufweisen. Daher ist der Einsatz von elektronischen Lösungen kritisch zu betrachten, da die erforderliche Lebensdauer aufgrund der Ausfallrate von Halbleiterbauteilen kaum erreicht werden kann.

Das Fachgebiet EVS ist Konsortialführer und leitet das Projekt, in welchem der Industriepartner „Eisenmann Thermal Solutions GmbH & Co. KG“ (Ruhstrat) aus Bovenden beteiligt ist. Ruhstrat beschäftigt sich im Rahmen des Projektes u.a. mit der technischen und konstruktiven Umsetzung der entwickelten Konzepte. Als beratender Partner für das Themenfeld der Spannungsqualität im Energienetz steht die Firma Condensator Dominit GmbH dem Gesamtvorhaben zur Seite.

title

NOVEL ROBUST REGULATORS FOR THE REACTIVE POWER CONTROL IN DISTRIBUTION NETWORKS (NR2-RPC)



NS-Demonstrator eines Sinus-Spannungsfilters für Netzanwendung mit 125A
LV-Demonstrator of a Sinus-Voltage-Filter for grid application up to 125A

This federal project is designed for three years. The department EVS is working with two scientists on the subproject "Development of novel robust actuators for reactive power management in distribution grids". In this subproject, the development of novel compensation systems is operated by means of magnetic actuators.

Background of the project is the guideline for feed-in of reactive power of the renewable energies in compliance with given $\cos\varphi (P)$ -characteristics at the connection points. This reactive power can be used on the one hand for voltage and reactive power control. This will allow more decentralized renewable energy feeders to be integrated into an existing grid. On the other hand, problem solving in distribution and low-voltage networks should not shift to other voltage levels. In this case, the reactive power must be locally collected and compensated in order to continue to ensure grid stability. The main focus of the department EVS is the development of a controllable inductance. Power companies are interested in actuators that are robust and have lifetimes of approximately 40 years. Therefore, the use of electronic solutions must be discussed critically, since the required service life can hardly be achieved due to the failure rate of semiconductor devices.

The department EVS is the consortium leader and manages the project in which the industrial partner "Eisenmann Thermal Solutions GmbH & Co. KG" (Ruhstrat) from Bovenden participates. Ruhstrat is involved in the project u.a. with technical and constructive implementation of the developed concepts. As an advisory partner for the topic of voltage quality in the energy network, Condensator Dominit GmbH from Brilon is at the side of the overall project.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Ansprechpartner

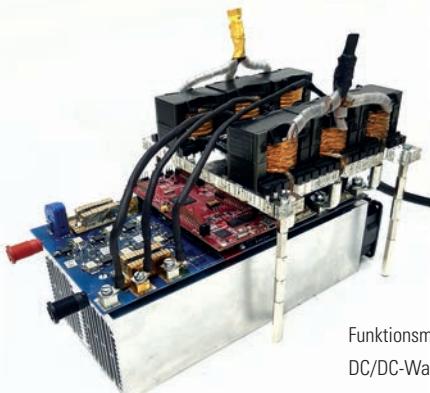
EDUARDO FACANHA DE OLIVEIRA, M.ENG.; SEBASTIAN SPRUNCK, M.SC.; JONAS PFEIFFER, M.SC.

Titel

**HOCHEFFIZIENTE, LANGLEBIGE UND
KOMPAKTE LEISTUNGSELEKTRONIK AUF
GaN-BASIS FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT DER
ZUKUNFT (HELENE)**

title

**HIGH-EFFICIENT, DURABLE AND COMPACT
GaN-BASED POWER ELECTRONICS FOR
FUTURE ELECTROMOBILITY**



Funktionsmuster des bidirektionalen

DC/DC-Wandlers

*Functional prototype of the
bidirectional DC/DC-Converter*

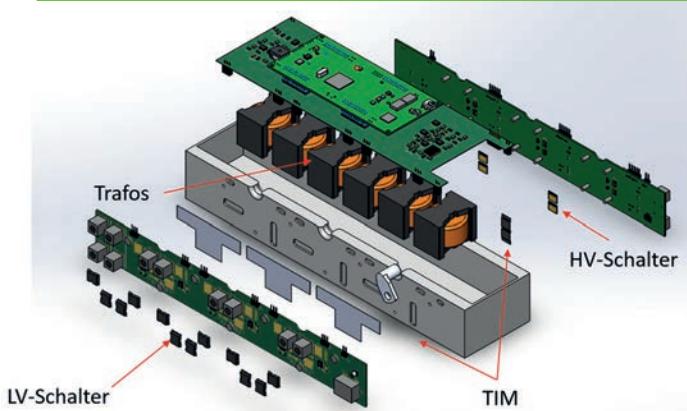
Seit März 2017 beteiligt sich das KDEE an einem Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Untersuchung des Einsatzes von Galliumnitrid-Halbleitern in Fahrzeugsystemen. Das Fachgebiet EVS hat dabei die Aufgabe, unter der Verwendung von GaN-Halbleiterschaltern einen galvanisch isolierten, bidirektionalen DC/DC-Wandler zwischen Hochvolt-Batterie (400 V) und Niedervoltbatterie (48 V) mit einer Nennleistung von 4 kW zu entwickeln, der den aktuellen Stand der Technik in Effizienz und Leistungsdichte übertrifft.

Die Forschungsschwerpunkte des EVS liegen dabei auf der Ebene der Bauelemente vor allem in der Charakterisierung neuartiger GaN-Bauelemente in der Kommutierungszelle nach dem Doppelpulsverfahren und der Entwicklung innovativer, effizienter Kühlungsstrategien, um so eine Miniaturisierung der Halbleiter-Schaltzelle anzustreben. Darüber hinaus werden Strategien zur Volumen- bzw. Gewichtsreduktion von magnetischen Bauelementen untersucht.

Im Verlauf des Projekts wurde bereits ein Funktionsmuster am Fachgebiet entwickelt, aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Durch die durchgeführten Messungen in den verschiedenen Arbeitspunkten des Wandlers ergaben sich einige Ansätze zur Optimierung. Insbesondere betraf dies die Verkleinerung des endgültigen Demonstrators, für den bereits ein fortgeschrittenes Konzept erarbeitet wurde.

Weitere Informationen zum Projekt und den Partnern finden Sie auf der offiziellen Website www.hella.com/helene-project/index

Since March 2017, the KDEE participates in a research project funded by the German Federal Ministry of Education and Research that intends to investigate a possible application of gallium nitride semiconductors in automotive systems. The department EVS is assigned the task to develop a galvanically isolated bidirectional DC/DC-Converter with a nominal power of 4kW by using GaN-semiconductor devices. It is dedicated to transfer power between the high voltage battery (400 V) and the low voltage battery (48 V) of an auto and has to exceed the current state of the art regarding the efficiency and power density.



Konzeptskizze des endgültigen Demonstrators

Conceptual Sketch of the final demonstrator

The research focus of the EVS is on the level of the components especially the characterization of novel GaN devices in the commutation cell with the double-pulse method and the development of innovative, efficient cooling strategies, so as to strive for miniaturization of the semiconductor switching cell. In addition, strategies for volume and weight reduction of magnetic components have been investigated.

In the project, a functional model has already been developed, built and successfully put into operation at the department. The measurements carried out in the various operating points of the converter gave rise to some optimization approaches, in particular, the reduction of the final demonstrator and an advanced concept has already been developed.

Further information regarding the project and its partners is available on the official project website www.hella.com/helene-project/index

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16EM00234

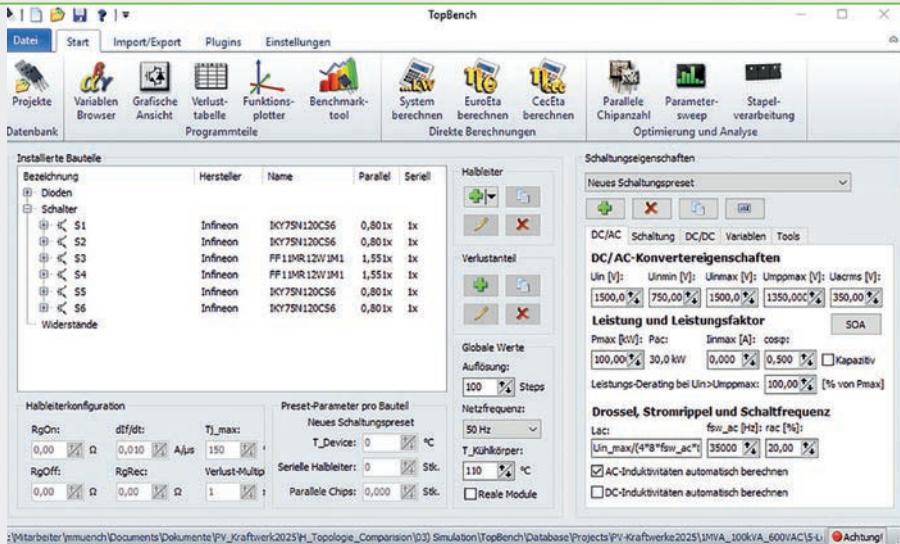
Ansprechpartner

KOK YUN FOO, M.SC.; DIPLO.-ING MANUEL MÜNCH; MAHMOUD SAEIDI, M.SC.; RAOUL MITZE, M.SC.

Titel

PVKRAFTWERKE2025: INNOVATIONEN FÜR DIE NÄCHSTE GENERATION PV-KRAFTWERKE

INNOVATIONS FOR THE NEXT GENERATION PV POWER PLANTS



Topologie-Leistungsbewertungs-Tool – 'TopBench'
Topology Performance Evaluation Tool – 'TopBench'

Neue Bauelemente, Systemlösungen und Wechselrichter für eine kostengünstige und netzdienliche Stromversorgung

Topologie Untersuchung und Vergleich

Ziel des Forschungsprojektes PVKraftwerk2025 ist es, eine neue Generation von PV-Großanlagen zu entwickeln, die die Versorgungssicherheit und Systemstabilität der PV-Kraftwerke verbessern. Das führt PV-Anlagen zu einer höheren Netzintegration, ohne die System- und Netzbetriebskosten zu erhöhen. In Zusammenarbeit mit der SMA Solar Technology AG, der Danfoss AG und der Infineon Technologies AG wird angestrebt, mit der innovativen Technologie des 1700V SiC-Halbleitermoduls eine Kostensenkung bei den Komponenten der Systemtechnik (insbesondere dem Wechselrichter) zu erreichen.

Das KDEE hat die Aufgabe übernommen, verschiedene Wechselrichter-Topologien bei der Anwendung von 100kW- und 1MW-Systemen zu vergleichen und zu untersuchen, indem es eine Reihe belastbare Kostenfaktoren berücksichtigte, die von der Chipfläche, der Induktorschärfe, den Zwischenkreiskondensatoren, der Anzahl der benötigten Treiber usw. bis hin zu einem selbst entwickelten Programm namens "TopBench" reichen. Topologien wie NPC, ANPC, BSNPC, FC, B6, FCNNPC und NPCB6 bis zu 5 Level wurden untersucht.

Die Leistung jeder Topologie wurde verglichen und relativ zur 2L-B6-Topologie, die als Vergleichsmaßstab dient, bewertet. Weitere Arbeitsschwerpunkte sind innovative Kühlkonzepte und Maßnahmen zur besseren Ausnutzung von Leistungsreserven und der weiteren Vergrößerung der Lebensdauer.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

New components, system solutions and inverter for cost effective and grid convenient power supply

Topology Investigations and Comparisons

The objective of the research project PVKraftwerk2025 is to develop a new generation of large-scale PV plants, which would improve supply security and system stability of the PV power plants. This would lead to the higher integration of the PV plants to the grid without increasing system and grid operational cost. In cooperation with the SMA Solar Technology AG, Danfoss AG, and Infineon Technologie AG, even it is aimed to achieve a reduction in the cost of the system components (particularly the inverter) with the innovative technology of 1700V SiC Semiconductor Module.

The KDEE executed the task of comparing and investigating different inverter topologies in the application of 100kW and 1MW system by considering a set of reliable cost factors ranging from chip area, inductor size, DC Link capacitors, number of drivers needed, etc. with a self-developed tool named as 'TopBench'. Topologies such as NPC, ANPC, BSNPC, FC, B6, FCNNPC and NPCB6 up to 5 levels has been investigated.

The performance of each topology was compared and ranked in a relative manner with respect to the 2L-B6 topology, which serves as a comparison benchmark. Without disclosing confidential cost information from the industrial partners, an excel spreadsheet is provided to update the topologies ranking automatically whenever the cost factors were changed by the user. This is helpful for the user to determine the best-optimized topology under different system costs condition.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0324211C

Ansprechpartner

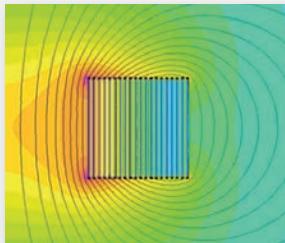
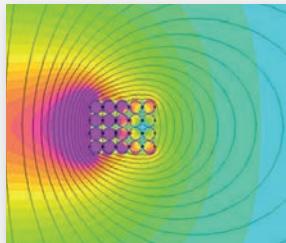
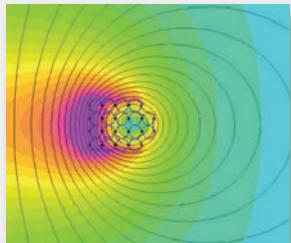
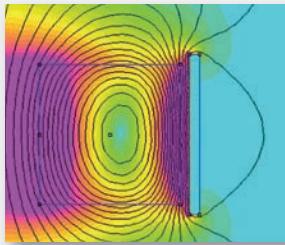
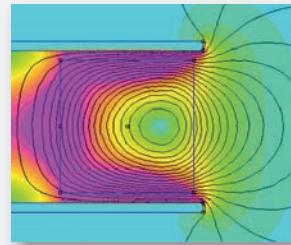
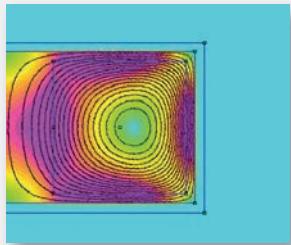
PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS; (DR.-ING THIEMO KLEEB (†))

Titel

HYBRID- UND LUFTSPULEN FÜR ZUKÜNSTIGE LEISTUNGSELEKTRONIK

title

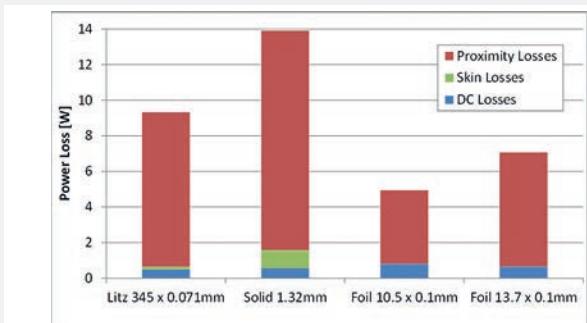
HYBRID AND CORELESS MAGNETICS FOR FUTURE POWER ELECTRONICS

**Einfluß der Leitergeometrie auf die Feldverteilung | Influence of Winding Material on Field Distribution**a) Litze | Litz Wire
(345 x 0.071mm)b) Massivdraht | Solid Wire
(1.32mm)c) Folienwicklung | Foil Winding
(10.5 x 0.1mm)**Einfluß der Abschirmung mit elektrisch leitendem Material | Influence of Shielding with Electrically Conductive Material**a) Hermetisch geschlossene
Abschirmung | Totally Enclosed Shieldb) Deckel/Boden Abschirmung |
Top-Bottom Shieldc) Deckel/Boden Abschirmung |
Cylindrical Shield

Die Frequenzerhöhung in leistungselektronischen Wandlern ermöglicht prinzipiell die Reduzierung der Baugröße von passiven Filterbauelementen. SiC und GaN Halbleiterbauelemente erlauben den Betrieb von leistungselektronischen Wandlern bei mehreren 100 kHz hartschaltend oder im Bereich von 1MHz weichschaltend, sogar für Wandler in der unteren kW Leistungsklasse. Jedoch führt die Baugrößenverringerung von passiven Bauelementen z. B. durch solche Effekte wie den Skineffekt und Wirbelstromverluste zu erhöhten Verlustleistungen je Bauteilvolumen. Speziell ferromagnetische Kerne für magnetische Bauelemente in leistungselektronischen Anwendungen können wegen der relativ hohen Verlustleistungsdichte verbunden mit geringer Wärmeleitfähigkeit nur begrenzt Wärme über ihre Oberfläche abführen. Der Einsatz von Luftspulen oder einer Mischung aus Luft- und herkömmlicher Spule (sogenannte Hybride) kann sowohl für die Bauteilreduzierung, als auch für die Kühlung vorteilhaft sein. Wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit und thermischen Belastbarkeit kann Kupfer sehr viel höhere Verluste abgeben als die meisten ferromagnetischen Kerne. Weiterhin erhöht das Entfernen des Kerns die Wicklungsoberfläche, welche durch Kühlmedien erreichbar ist. Diese Eigenschaften machen den Einsatz von Luftspulen für hohe Schaltfrequenzen in leistungselektronischen Anwendungen interessant. Da bei erhöhten Schaltfrequenzen auch geringe Induktivitätswerte benötigt werden, können Luftspulen mit begrenzter Wickellänge realisiert werden. Das durch die ECPE geförderte Projekt befasste sich 2016 – 2017 daher mit geeigneten Geometrien bezüglich Spulen- und Komponentengröße, dem dazu gehörigen Schirmungsaufwand, Verlustleistung und anderen Aspekten von Luft- und Hybridspulen für die Leistungselektronik.

The increase in frequency in power electronic converters makes it possible in principle, to reduce the size of passive filter components. SiC and GaN semiconductor devices, which allow the operation of power electronic converters to be hard-switching at several 100 kHz or soft switching in the range of 1MHz even for the lower kW power class converters. However, the size reduction of the passive components f. e. along the effects such as the skin effect and eddy current losses to increase power losses per component volume. Explicitly, ferromagnetic cores for magnetic devices for the power electronic applications

can only provide limited dissipation of heat across their surface due to the relatively high loss density associated with low thermal conductivity. The use of the air coils or a mixture of air and conventional coil (so-called hybrid) can be favorable for both the component reduction, as well as cooling. Due to its high thermal conductivity and thermal resistance, copper provide much higher losses than most of the ferromagnetic cores. Furthermore, the removal of the core, would increase the winding surface, accessible by the cooling media. These features make the use of the air coils interesting for high switching frequencies in power electronic applications. Since lower inductance values are required with the increased switching frequencies, air coils with a limited winding length can be realized. The ECPE funded project (2016–2017) addresses the proper geometries in terms of coil and component size, the associated shielding effort, power dissipation and other aspects of air and hybrid coils for power electronics.

10 μ H Solenoid Air Coil (Brooks Inductor, $I_{dc} = 5$ A, $I_{ac} = 4.08$ A, $f = 1$ MHz)

Ansprechpartner

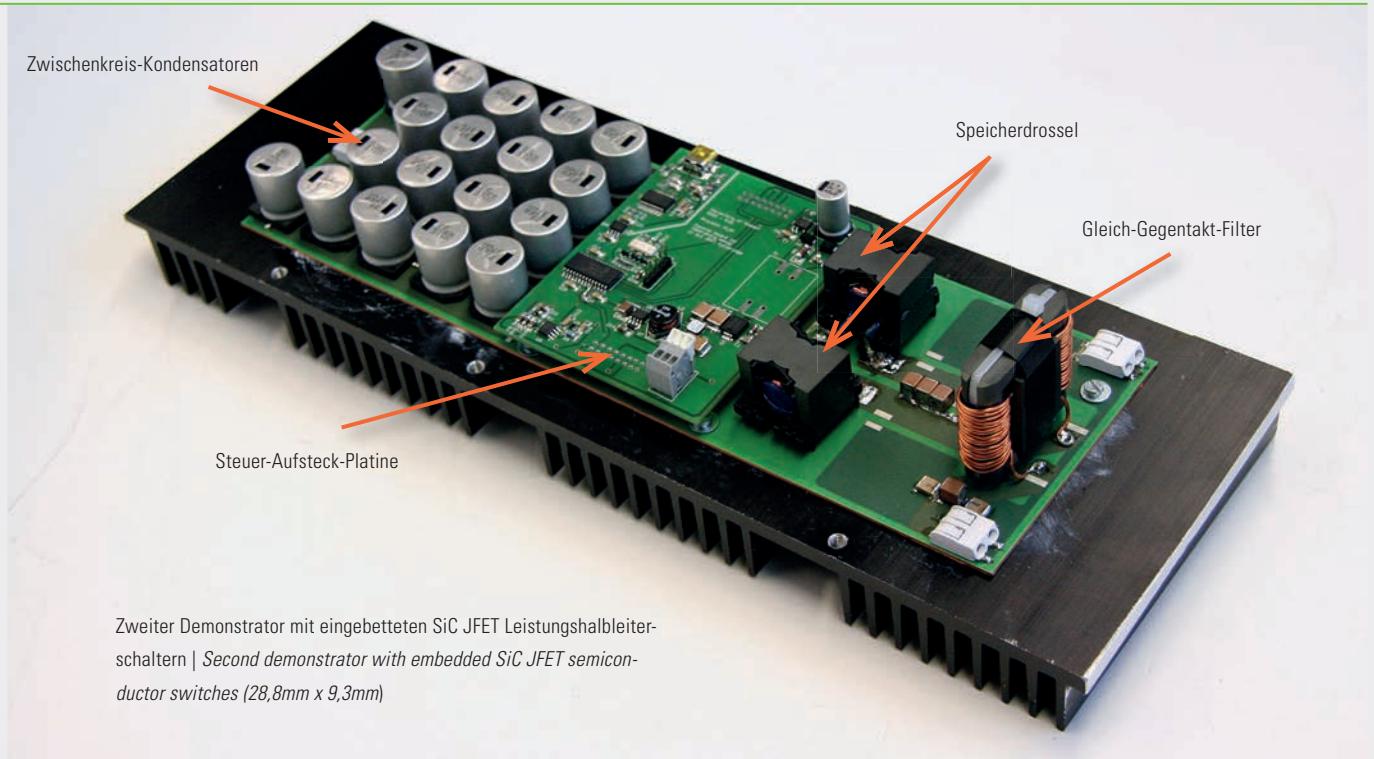
DR.-ING. JULIANE ALICKOVIC; (DR.-ING. THIEMO KLEEB (†))

Titel

GRÖSSEOPTIMIERTE AUFBAU- UND VERBINDUNGSTECHNIK FÜR PHOTOVOLTAIK- WECHSELRICHTER IN DER UNTEREN KW-KLASSE (FLIP)

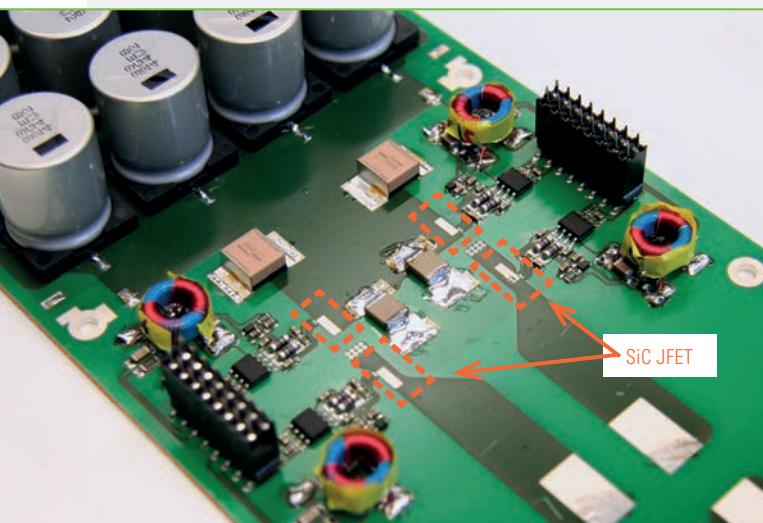
title

SIZE-OPTIMIZED ASSEMBLY AND CONNECTION TECHNOLOGY FOR PHOTOVOLTAIC INVERTERS IN THE LOWER KW CLASS (FLIP)



Halbleiter für leistungselektronische Schaltungen auf Leiterkarten sind üblicherweise entweder in Form von diskreten Gehäusen für eine Durchsteckmontage (THT), in einem Gehäuse für die Oberflächenmontage (SMT) oder in Modulform mit Feder- oder Schraubkontakte im Handel erhältlich. Zusammen mit den für die Stromführung und Bauteilmontage notwenigen Platinen (PCBs) und den Einzelkomponenten entstehen die fertigen Schaltungen. Trotz der kleinen Halbleitergrößen entstehen aufgrund der physikalischen Abmessungen der Bauteilgehäuse große Entfernung zwischen Halbleiterchip und den notwendigen passiven Komponenten (z. B. Zwischenkreiskondensatoren). Diese verursachen parasitäre Elemente, welche bei sehr schnellen Stromänderungen zu Überspannungen und Schwingungen führen. Im Projekt FLIP (fast-switching low-impedance process-optimized) wurden im Zeitraum vom 01.09.2013 bis 30.04.2017 neuartige Fertigungsverfahren für platinenintegrierte Halbleiterbauelemente untersucht und praktisch erprobt. Um bei deren Herstellung mehr Stabilität und ein besseres Wärme-Management zu erhalten, wurden die Module und Leiterplatten auf IMS Basis hergestellt. Die eingebetteten Halbbückenmodule wurden testweise mit selbstleitend Silizium-Carbid (SiC) 650 V JFET Leistungshalbleitern von Infineon realisiert und ein Tiefsetzsteller-Teildemonstrator mit einer Spannungsklasse von 400 V entwickelt. Dieser erreichte bei einer Taktfrequenz von 100 kHz, einer Nennleistung von 2,3 kW und freier Konvektion einen Europäischen-Wirkungsgrad von über 99 %. In einem zweiten Demonstrator wurde die

Semiconductors for power electronic circuits on printed circuit boards are commercially available either in the form of discrete packages for through-hole mounting (THT), in a surface mount (SMT) package, or in modular form with spring or screw type contacts. Together with the printed circuit boards (PCBs) require the power. Despite the size of semiconductor, and due to the physical dimensions of the component packages, large distances are created between the semiconductor chip and the necessary passive components (e.g., DC link capacitors). This results in parasitic elements, which lead to overvoltages and oscillations with very fast current changes. In the project FLIP (fast-switching low-impedance process-optimized), in the period from 01.09.2013 to 30.04.2017 new types of manufacturing processes for PCB integrated semiconductor devices were investigated and experimentally tested. In order to obtain higher stability and better heat management during their production, the modules and printed circuit boards were manufactured on an IMS basis. The embedded half-bridge modules were tested using silicon-carbide (SiC) 650 V JFET power semiconductors from Infineon and a 400 V-class buck converter was developed. With a switching frequency of 100 kHz, a nominal power of 2.3 kW and free convection, this converter achieved a European efficiency of more than 99%. In a second demonstrator, the DC-AC stage of a 400 V PV inverter with the same embedded semiconductor switches was set up on a large IMS circuit board. This was operated at 300 kHz, free convection



Nahaufnahme der vier eingebetteten SiC JFET Schalter

unterhalb der aufgesteckten Steuerplatine

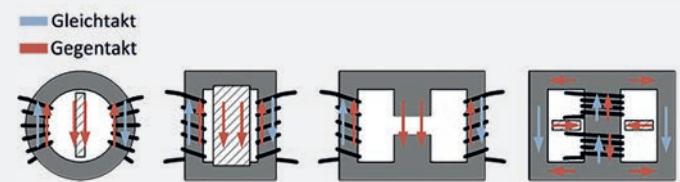
Closeup view of four embedded SiC JFET switches below inserted control-PCB

DC-AC Stufe eines 400 V PV-Wechselrichter mit den gleichen eingebetteten Halbleiterschaltern auf einer großen IMS Leiterplatte aufgebaut. Dieser wurde bei 300 kHz, freier Konvektion und bei 1,15 kW betrieben und erreichte Wirkungsgrade von bis zu 96,7 % und Europäische-Wirkungsgrade von bis zu 95,95 %.

Bei PV-Wechselrichtern nehmen die passiven Filterbauelemente einen erheblichen Teil des Volumens im Gerät ein und tragen damit entsprechend auch zu den Systemkosten bei. Magnetische Bauelemente, wie Speicher- und Filter-Drosseln, stehen dabei besonders im Fokus der Untersuchungen. Zur Reduzierung von Volumen und Kosten wurden zwei Maßnahmen ergriffen: Die Erhöhung der Schaltfrequenz und die funktionelle Integration magnetischer Bauelemente. Die Erhöhung der Schaltfrequenz ermöglicht die Miniaturisierung von Speicherdrösseln. Werden bestimmte Grenzwerte bei Größe und Gewicht unterschritten können die Bauelemente automatisch bestückt werden, was weitere Kosteneinsparungen ermöglicht. Bei den Filterdrösseln ist eine Kombination von Gleich- und Gegentakt-Filttern in einem Bauelement möglich. Eine Drossel ist dann so konstruiert, dass diese gleichzeitig eine hohe Gleich- und Gegentakt-Induktivität aufweist. Dadurch erhöht sich die Ausnutzung des Bauelements und ein einziges Bauelement kann zwei Filterfunktionen effektiv erfüllen. Ein Gleich- und Gegentakt-Bauelement ersetzt eine Gleichtaktdrossel und zwei Gegentaktdrosseln, also drei diskrete Bauelemente. Dadurch werden sowohl Materialeinsparungen, als auch Reduzierung der Filterverluste möglich. Im Rahmen des Projekts wurden entsprechende Techniken erarbeitet und in der Anwendung getestet.

and 1.15 kW and achieved efficiencies of up to 96.7 % and European efficiencies of up to 95.95 %.

For PV inverters, the passive filter components employ a significant portion of the volume in the device, thereby contributing to the system cost. Magnetic components, such as storage and filter chokes, are the main focus of the investigations. Two measures have been taken to reduce volume and cost: increasing the switching frequency and functional integration of the magnetic components. Increasing the switching frequency allows miniaturization of the storage chokes. If certain limits in size and weight are exceeded, the components can be automatically picked and placed, which allows further cost savings. With the filter chokes, a combination of a common mode (CM) and differential mode (DM) filters in one component possible. Simultaneously a choke is then designed having higher CM and DM inductance. This increases the utilization of the device and a single device can effectively fulfill two filter functions. A DC and push-pull device replaces a common mode choke and two push-pull chokes, so three discrete components. This allows both material savings and reduction of filter losses. As a part of the project, proper techniques were developed and tested for the application.



Prinzipieller Aufbau verschiedener Gleich-Gegentakt-Drosseln; von links nach rechts:
Ring-Kern, U-Kern, E-Kern, E- oder Pot-Kern

*Principal set-up of different common-mode / differential mode chokes; left to right:
Toroid, U-shaped core, E-shaped core, E- or pot core*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektpartner: SMA Solar Energy AG, Unimicron Germany GmbH (ehem. Ruwel International GmbH), TU Berlin, Infineon AG

**Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen
16ES0129K (2014 – 2017)**

Ansprechpartner

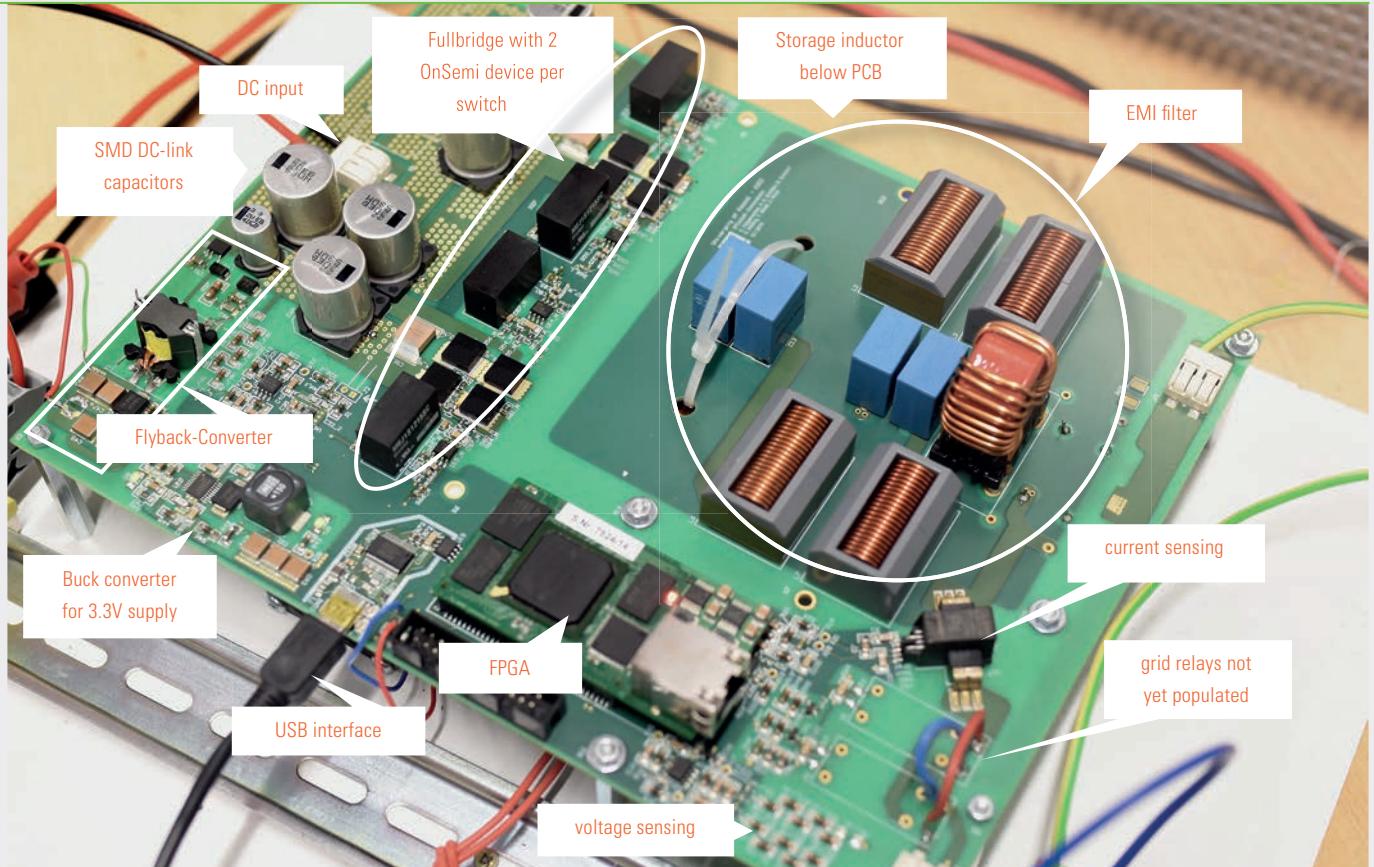
DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING; DR.-ING. CHRISTIAN FELGEMACHER

Titel

ENERGIEEFFIZIENTE STROMRICHTER DURCH NUTZUNG VON GaN-BAUELEMENTEN (E²COGaN)

title

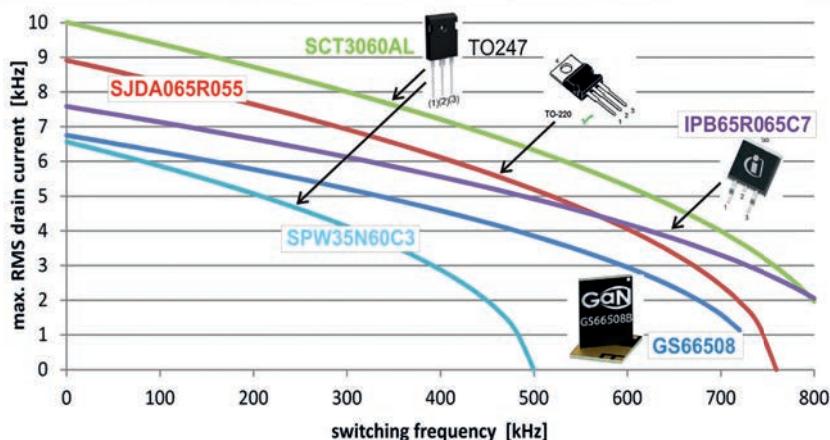
ENERGY EFFICIENT CONVERTERS USING GaN POWER DEVICES (E²COGaN)



Demonstrator V2
demonstrator V2

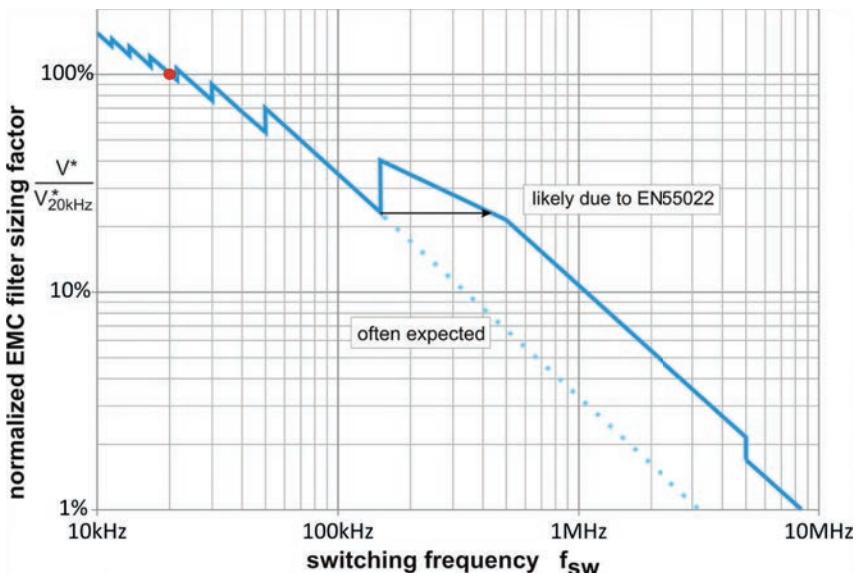
Effiziente Energieumwandlungssysteme stehen im Mittelpunkt der weltweiten Bemühungen für eine "grüne" Wirtschaft, da sie Verluste minimieren, Energie sparen und so zu einer besseren CO₂-Bilanz beitragen können. Halbleiter-Leistungsgeräte sind ein zentraler Bestandteil jeder Leistungsumwandlungsschaltung und in unserem täglichen Leben allgegenwärtig: Sie wandeln Spannungen für eine Vielzahl von Geräten um, beispielsweise vom 220-V-Wechselstromnetz in ein 12 Vdc-Endbenutzergerät und ermöglichen die Umwandlung von Gleichstrom auf Wechselstrom und umgekehrt. Hocheffiziente Leistungsschaltgeräte sind ein Schlüssel für die erfolgreiche Markteinführung von Elektrofahrzeugen. E²COGaN zielte darauf ab, GaN-on-Si als kommende Hochspannungstechnologie (HV) und High-Electron-Mobility-Transistoren (HEMT) über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg bis hin zu Demonstratoren mit hoher industrieller, gesellschaftlicher und ökologischer Relevanz zu demonstrieren. Ziele waren höhere Effizienz, höhere Schalthäufigkeit, geringerer Platzbedarf und Gewicht sowie wettbewerbsfähige Kosten auf Systemebene in Bezug auf Si oder SiC. Das KDEE/EVS war für alle Anwendungsaktivitäten von GaN-Geräten verantwortlich. Das Projekt wurde Anfang 2017 erfolgreich abgeschlossen.

Efficient power conversion systems are at the heart of the worldwide efforts for a "green" economy, since they can minimize losses and save energy and contribute thus to achieve a better CO₂ balance sheet. Semiconductor power devices are a central part of any power conversion circuit and are ubiquitous in our daily lives: they convert voltages for a multitude of appliances, such as from the 220 V AC mains to a 12V DC end-user appliance and enable to convert from DC to AC and vice versa. Highly efficient power switching devices are a key for successful introduction of full electric vehicles into the market. E²COGaN targeted the demonstration of GaN-on-Si as a disruptive high voltage (HV) technology and High Electron Mobility Transistors (HEMT) through the entire value chain up to demonstrators with high industrial, societal and environmental relevance. Aims were higher efficiency, higher switching frequency, smaller footprint and weight and competitive cost on system level with respect to Si or SiC. The KDEE/EVS was responsible for all application activities of GaN devices. The project has been successfully ended beginning 2017.



Maximal zulässiger RMS-Strom verschiedener Halbleiterschalter in verschiedenen Gehäuseformen in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz bei hartem Schalten

Maximum permissible RMS current of various semiconductor switches in different packaging forms as a function of the switching frequency during hard switching



Berechneter Indikator für die EMV-Filtergröße, gemäß der Grenzwerte von EN55022 normiert auf 20 kHz
Estimated EMC filter size indicator normalized to 20 kHz according to the limits of EN55022

Partner: ON Semiconductor Belgium BVBA/B NXP Semiconductors/B, STMicroelectronics/IT, CIRTEM/F, EpiGaN NV/B, CISC Semiconductor GmbH/AT, NanoDesign Ltd./SK, EADS/F, Microwave Characterization Center SAS (MC2)/F, Consorzio Nazionale Interuniversitario per la Nanoelettronica (IUNET)/IT, Fraunhofer IMS Institut f. Mikroelektronische Schaltungen u. Systeme/D, Fraunhofer IZM Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration/D, Fraunhofer IISB Institut für Integrierte Systeme und Bauelementtechnologie/D, Slovak University of Technology in Bratislava/SK, University of Bristol/UK, Synopsys Switzerland LLC, CH Bitron Spa (BIT)/IT, Schneider Electric (SE)/F, Azzurro/DE Robert BOSCH GmbH/DE, Technical University of Eindhoven/NL, AUDI AG/DE

Finanzierung: Europäische Union / ENIAC (2013 -2017)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ansprechpartner
OLYMPIO CIPRIANO DA SILVA FILHO, M.SC.

title

PHD PROJECT: NEW FAMILY OF HIGH FREQUENCY ISOLATED SINGLE-PHASE AC-AC CONVERTERS

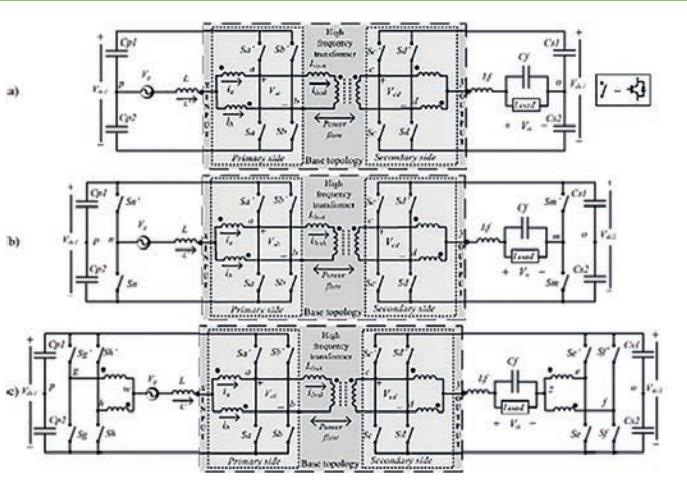


Abbildung 1: Symmetrische Topologien der vorgeschlagenen Familie: a) Halbbrücken-Variation; b) Vollbrücke; c) Verschachtelte Vollbrücke

Figure 1: Symmetric topologies of the proposed family: a) half-bridge variation; b) full-bridge; c) interleaved full-bridge

Promotionsvorhaben

Industrielle Anwendungen wie z.B. die dynamische Spannungsstützung (DVR) verwenden häufig AC / AC-Wandler. In der Industrie wurden AC-Thyristor-Stromrichter eingesetzt. Diese weisen jedoch mehrere Nachteile auf, wie einen niedrigen Leistungsfaktor, eine hohe Oberschwingungsverzerrung des Eingangsstroms und einen niedrigen Wirkungsgrad. Als eine Lösung kommen kaskadierte AC / DC- und DC / AC- Wandler mit Transistoren zum Einsatz. Eine in der Literatur diskutierte weitere Option ist der seit mehreren Jahren untersuchte Matrixkonverter, der die AC / AC-Umwandlung in einer einzigen Stufe durchführt. Hauptvorteil ist formal das Fehlen eines Zwischenspeichers. Dies ermöglicht theoretisch eine kompaktere Implementierung und eine höhere Lebensdauer des Umrichters. Praktisch überwiegen jedoch hier die Nachteile, die vor allem aus einem sehr hohen Aufwand an Messtechnik für die Feststellung des Systemzustands und einer niedrigen erforderlichen AC-Quellenimpedanz herrühren. In einem gemeinsamen Promotionsvorhaben der Universität Fortaleza und der Universität Kassel (2015 – 2019) werden hier neue Lösungen gesucht.

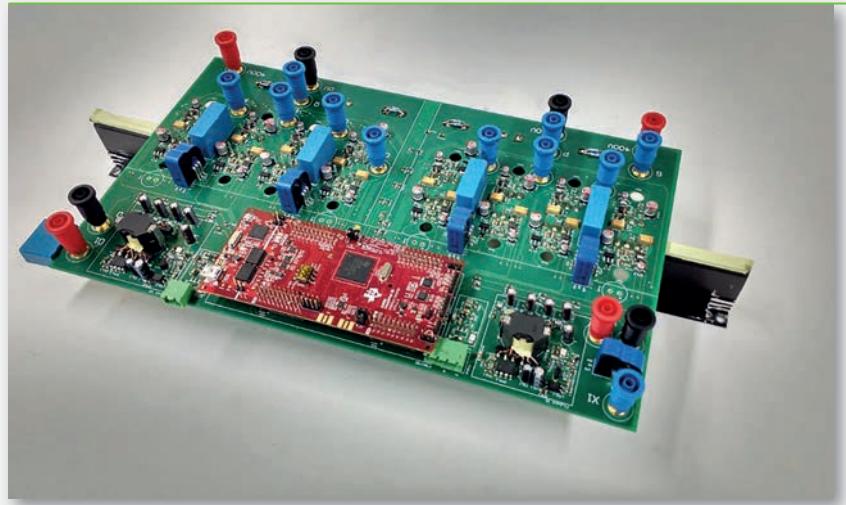
Die Familie der vorgeschlagenen Konverter besteht aus drei symmetrischen Topologien (Abb. 1) und sechs asymmetrischen Topologien. Die Abbildung 1a zeigt die symmetrische Halbbrückentopologie (die eine Halbbrückenanordnung auf beiden Seiten des Umrichters zeigt – Last und Netz). Die Abbildung 1b zeigt den symmetrischen Vollbrückenwandler (mit Vollbrückenanordnung auf beiden Seiten), während die Abbildung 1c den symmetrisch verschachtelten Vollbrückenwandler mit gleichnamigen Anordnungen auf beiden Seiten darstellt.

Industrial applications such as dynamic voltage restorer (DVR) often uses AC / AC converters. In the industry AC thyristor power converters were used. However, these have several disadvantages, such as a low power factor, a high harmonic distortion of the input current and a low efficiency. As a solution, cascaded AC / DC and DC / AC converters with transistors are used. Another option discussed in the literature is the matrix converter, which has been investigated since several years and carries out AC / AC conversion in a single step. The main advantage is formally the absence of a DC link. This theoretically allows a more compact implementation and longer inverter lifetime. Practically exceed, however, the disadvantages here, which stem mainly from a very large amount of measurement technology for the determination of the system state and a low required AC source impedance. In a joint doctoral project at the University of Fortaleza and the University of Kassel (2015 – 2019), new solutions are being investigated.

The family of proposed converters consists of three symmetric topologies (fig. 1) and six asymmetric topologies. Fig. 1a shows a balanced half-bridge topology (showing a half-bridge arrangement on both sides of the drive – load and network). Figure 1b shows the symmetrical full-bridge converter (with full-bridge arrangement on both sides), while Figure 1c shows the symmetrically nested full-

Abbildung 2: Allgemeiner Prototyp, um die vorgeschlagene Topologie-Familie zu testen

Figure 2: General purpose prototype developed to test the converters of the proposed family



Die sechs asymmetrischen Topologien werden durch die Kombination der vorgenannten Anordnungen erzeugt. Alle Konverter basieren auf einem dualen aktiven Brückenkonverter (DAB) und der Interleaving-Technik. Diese wird mit einem "Interleaved"-Transformator implementiert. Der DAB-Konverter ermöglicht eine hohe Leistungsdichte. Durch die parallel wirkenden Schaltzellen wird der Strom gleichmäßig auf die Halbleiter aufgeteilt. Das erleichtert die Verlustverteilung und ermöglicht Anwendungen bei hohen Leistung. Außerdem führt die magnetische Integration zur Verringerung des Bedarfs an magnetischen Bauelementen. Prinzipbedingt ist die deutliche Verringerung der notwendigen Anzahl von Halbleiterschaltern in den bidirektionalen AC / AC-Wandlern auf ca. die Hälfte.

Die Abbildung 2 zeigt den entwickelten Universalprototyp zum Testen der Konverter der vorgeschlagenen Familie.

bridge converter with identically named arrangements on both sides. The six asymmetric topologies are generated by the combination of the aforementioned arrangements. All converters are based on a dual active bridge converter (DAB) and the interleaving technique. This is implemented by an "interleaved" transformer. The DAB converter enables a high power density. Due to the parallel-acting switching cells, the current is divided equally between the semiconductors. This facilitates loss distribution and enables high performance applications. In addition, magnetic integration reduces the need for magnetic devices. Due to the principle, the significant reduction of the necessary number of semiconductor switches in the bidirectional AC/AC converters to about half.

Figure 2 shows the developed universal prototype for testing the converters of the proposed family.

Quelle/Source: DA SILVA FILHO, Olympio Cipriano; DE SOUZA OLIVEIRA, Demercil. *Proposal of a new family of high frequency isolated single-phase AC-AC converters*. In: Industry Applications (INDUSCON), 2016 12th IEEE International Conference on. IEEE, 2016. p. 1-8.

Ansprechpartner
GABRIELA FREITAS, B.S.C.

Titel
UMRÜSTUNG EINES BOOTS VON DIESEL-ANTRIEB AUF ELEKTRISCHEN ANTRIEB

title
CONVERSION OF A DIESEL-POWERED BOAT TO ELECTRIC DRIVE



Der Übergang von Antrieben mit Verbrennungsmotoren zu elektrischen Antrieben ist in allen Bereichen der Mobilität reizvoll. Der praktisch emissionsfreie und geräuschlose Antrieb macht auch den Einsatz in Booten und Schiffen interessant. Im Demonstrationsprojekt wird ein 4,5 t Boot mit einem Dieselantrieb auf einen elektrischen Antrieb umgerüstet. Der Li-Ionen-Batteriespeicher von 32 kWh liefert die erforderliche Energie für die Fahrt. Eine Nachladung erfolgt im Hafen aus dem Netz oder über einen zusätzlichen elektrischen Generator an Bord. Dadurch handelt es sich um ein serielles Antriebskonzept. Auf dem Verdeck sind zusätzlich 1,4 kWp Photovoltaik (PV) integriert, die für eine Nachladung im der Hauptbatterie im Kleinleistungsbereich und für die 12V Batterie der Steuerung eingesetzt wird. Zwischen den Speichern und den Energielieferanten kann die Energie durch ein Energiemanagementsystem transportiert werden. Neben der Demonstration der Vorteile des elektrischen Fahrens wird dieses Projekt als Ausgangspunkt für neue Ansätze zur Steigerung der Effizienz des Antriebssystems verwendet, um den verfügbaren Energievorrat besser nutzen zu können.

4,5 t Yacht "Rhapsody" auf einem Trailer zum Umbau des Antriebs und der Energieversorgung in der DEMOTEC-Halle

4.5 t yacht "Rhapsody" on a trailer for the conversion of the drive and the power supply in the DEMOTEC hall

The transition from drives with combustion engines to electric drives is attractive in all areas of mobility. The virtually emission-free and silent drive makes the drive of boats and ships interesting. In this demonstration project, a 4.5 t boat with a diesel drive will be converted to an electric drive. The Li-ion battery storage of 32 kWh provides the energy required for the journey. Recharging is possible in the harbor by grid connection or via an additional electrical generator on board. This is a serial drive concept. An additional 1.4 kWp photovoltaic (PV) generator is integrated on the deck, which is used for recharging the main battery in the low power range and for the 12 V battery for the control. Between storages and the energy suppliers, the energy can be transported through an energy management system. In addition to demonstrating the benefits of electric driving, this project will be used as a starting point for new approaches to increase the efficiency of the propulsion system to make better use of the available energy.

Partner: Fh IEE

Sponsor: Kleinkauf-Stiftung, Zeitraum: 2018 – 2021

Ansprechpartner

DIPL.-ING. FLORIAN FENSK

Titel

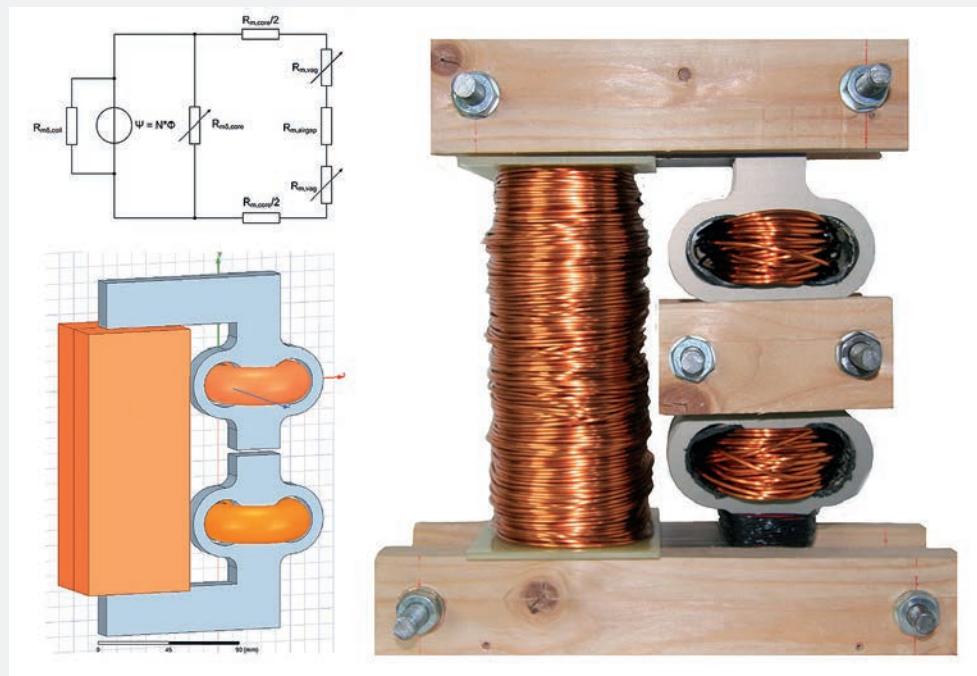
FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG – STEUERBARE MAGNETISCHE BAUELEMENTE

Um die resultierende Induktivität eines magnetischen Bauelements zu steuern, werden die nichtlinearen Eigenschaften der Kernmaterialien genutzt. Grundsätzlich kann zwischen einer passiven und aktiven Steuerung unterschieden werden. Eine passive Steuerung wird beispielsweise durch das Einbringen eines Permanentmagneten oder eine bestimmte Formgebung des Eisenkreises erreicht. Eine aktive Steuerung hingegen wird durch das Einbringen einer bestromten Hilfswicklung im oder um den Eisenkern erzielt. Somit muss für eine kontinuierliche Steuerung der Induktivität des Bauelements eine aktive Steuerung des Hilfstroms vorgesehen werden. Weiterhin ist der mögliche Einfluss der Streuung des magnetischen Flusses aus dem Kernmaterial zu berücksichtigen. Erst bei einer Gesamtbetrachtung und Berücksichtigung aller Einflussfaktoren kann eine steuerbare Induktivität ausgelegt und dimensioniert werden. Im vorgestellten Forschungsthema werden Prinziplösungen für netzfrequente Anwendungen erforscht. Bei den Kernmaterialien handelt es sich daher vorzugsweise um Bleche. Mögliche Anwendungen stellen regelbare Netzdrosseln zum Blindleistungsmanagement und Filterkreise zur Verbesserung der Netzspannungsqualität dar. Darüber hinaus existieren Anwendungsbereiche im HF-Bereich, wie bspw. Speicher- und Glättungsdiode für Umrichter, Filterkreise oder PFC-Schaltungen. Die magnetischen Bauelemente werden sowohl analytisch, durch 3D-FEM-Feldsimulationen und experimentell auf Funktionsweise, Stabilität und Regelbarkeit untersucht.

title

RESEARCH AND DEVELOPMENT – CONTROLLABLE MAGNETIC COMPONENTS

In order to control the resulting inductance of a magnetic device, the non-linear properties of the core materials are utilized. Basically, a distinction can be made between passive and active control. A passive control is achieved for example by the introduction of a permanent magnet or a specific shape of the iron circuit. An active control, however, is achieved by introducing an energized auxiliary winding in or around the iron core. Thus, for



Auslegungsprozess zum steuerbaren magnetischen Funktionsmuster

Design process for controllable magnetic prototype

continuous control of the inductance of the device, active control of the auxiliary current must be provided. Furthermore, the possible influence of the scattering of the magnetic flux from the core material is taken into account. Only with a comprehensive survey and consideration of all influencing factors a controllable inductance can be designed and dimensioned. The presented research topic explores basic solutions for grid-frequency applications. The core materials are therefore preferably ferromagnetic sheets. Potential applications include controllable line reactors for reactive power management and filter circuits to improve line voltage quality. In addition, there are application areas in the HF range, such as storage and smoothing chokes for converters, filter circuits or PFC circuits. The magnetic components are analyzed analytically, by 3D-FEM field simulations and experimentally on operation, stability and controllability.

Ansprechpartner

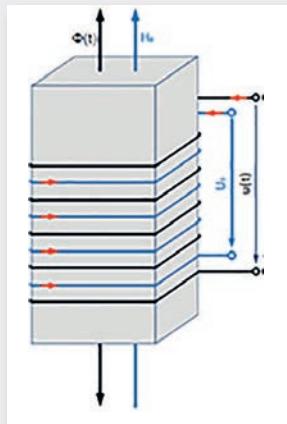
DR.-ING. ALEJANDRO AGANZA TORRES

Titel

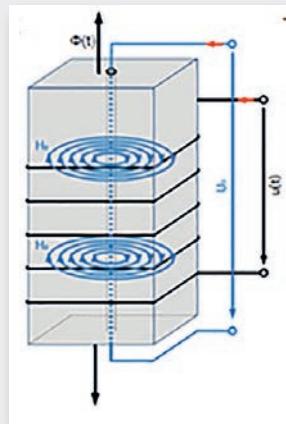
NUTZUNG NICHTLINEARER MAGNETISCHER EFFEKTE FÜR DIE STEUERUNG VON ENERGIEWANDLERN

title

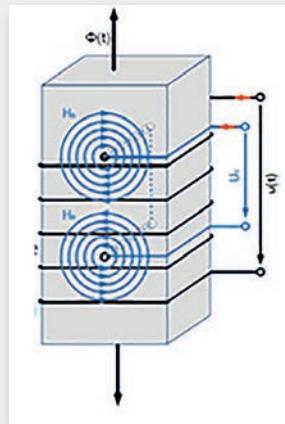
USE OF NON-LINEAR MAGNETIC EFFECTS FOR THE CONTROL OF ENERGY CONVERTERS



a)



b)



c)

Drei Arten der Überlagerung von
Magnetfeldern in einem Kern:
Hauptfluss und Kontrollfluss parallel
(a), orthogonal (b) und gemischt (c)
*Three types of superposition of
magnetic fields in a single core: main
flux and control flux parallel (a),
orthogonal (b) and mixed (c)*

Ein Forschungsthema in Magnetkreisen ist die Überlagerung verschiedener Magnetfelder mit unterschiedlichen Orientierungen. Dies umfasst serielle und orthogonale Magnetfelder in Bezug auf das Feld, das durch die Hauptwicklung des Anwendungsstroms auferlegt wird.

Während serielle oder anti-serielle Magnetisierung bereits verwendet wird, um höhere Sättigungsströme oder höhere effektive Sättigungsflussdichten zu nutzen, wurde die orthogonale Magnetisierung in den letzten Jahrzehnten selten untersucht. Die neuen Ansätze bieten das Potenzial hoher Vorteile, insbesondere im Hinblick auf optimierte Designs für WBG-Anwendungen und höhere Nennleistungen von Magnetkomponenten bei kleineren Abmessungen oder auch zusätzliche Funktionalitäten der Magnetkomponenten selbst.

Magnetkreise in der Leistungselektronik sind meist auf kolinearen Fluss optimiert, d.h. es gibt keine Überlagerung orthogonaler Flüsse. Dies ist hauptsächlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Kopplung auf der induzierten Spannung basiert, die auf Änderungen des Flusses selbst basiert, und nicht auf Parameteränderungen, obwohl die relevanten Parameter wie Permeabilität/Induktivität oder Koppelfaktor durch unterschiedliche Flussniveaus beeinflusst werden können. Die Kopplung über Parameteränderungen eröffnet eine Reihe neuer Ansätze.

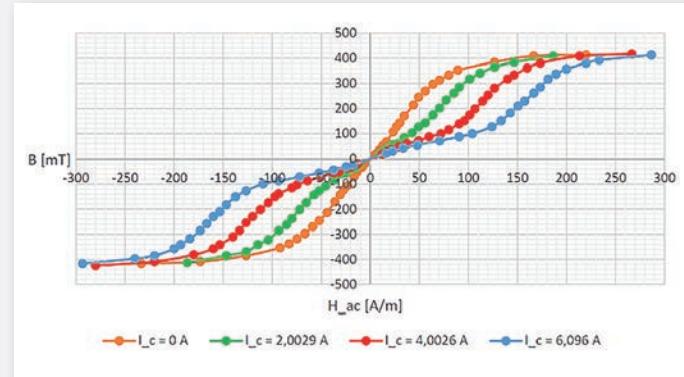
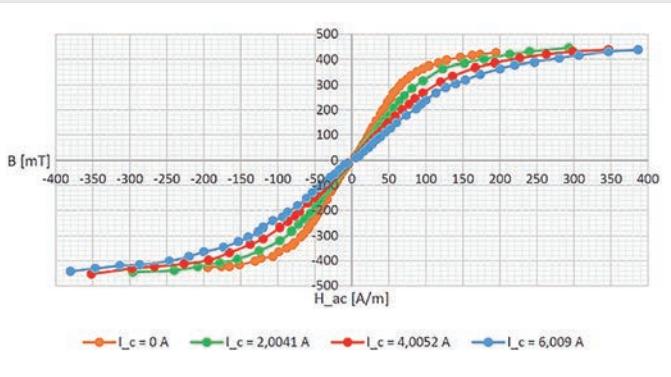
Herkömmliche Transformatoren basieren auf der parallelen bzw. anti-parallelen Ausrichtung magnetischer Flüsse. Wird zusätzlich zum Wechselstromfeld ein Gleichstromfeld parallel eingeprägt, erhält man eine resultierende, vom Gleichfeld abhängige Kennlinie. Diese ist nichtlinear und kennzeichnend für den klassischen Magnetverstärker. Aus verschiedenen Gründen ist die Magnetisierungskurve eines ferromagnetischen Materials eine ungerade Funktion, punktsymmetrisch zum Ursprung des B-H-Koordinatensystems. Bei isotropen Materialien, wie z. B. Ferriten, sind diese Eigenschaften in alle Raumrichtungen

A research topic in magnetic circuits is the superposition of different magnetic fields with different orientations. This includes series and orthogonal magnetic fields in relation to the field imposed by the main winding of current application.

While series or anti-series magnetization is already being used to utilize higher saturation currents or higher effective saturation flux densities, orthogonal magnetization has rarely been studied in recent decades. The new approaches offer the potential of high benefits, especially regarding to optimized designs for WBG applications and higher rated power of magnetic components with smaller dimensions or additional functionalities of the magnetic components themselves.

Magnetic circuits in power electronics are mostly optimized for colinear flux, i.e. there is no superposition of orthogonal fluxes. This is mainly because the coupling is based on the induced voltage due to changes in the flux itself and not on parameter changes, although the relevant parameters such as permeability/inductance or coupling factor can be affected by different flux levels. The coupling via parameter changes opens up a number of new approaches.

Conventional transformers are based on parallel or anti-parallel alignment of magnetic fluxes. If, in addition to the alternating current field, a DC field is inserted in parallel, a resulting characteristic dependent on the DC field is obtained. This is nonlinear and characteristic of the classic magnetic amplifier. For various reasons, the magnetization curve of a ferromagnetic material is an odd function, point-symmetric to the origin of the B-H coordinate system. For isotropic materials, such as ferrites, these properties are given equally in all spatial directions. A vectorial orthogonal superposition of the H field, which in the case



gleichermaßen gegeben. Eine vektorielle orthogonale Überlagerung des H-Feldes, die bei linearer $B(H)$ -Abhängigkeit zu keinen Wechselwirkungen in den beiden Orientierungen führt, hat bei nichtlinearer Abhängigkeit eine wechselseitige Verformung der jeweiligen Magnetisierungskennlinie zur Folge. Ein magnetisches Gleichfeld kann dabei sowohl durch einen DC-Strom als auch durch einen Permanentmagneten erzeugt werden. Mit den Kombinationsmöglichkeiten lassen sich in Anbetracht der vielfältigen Werkstoffe viele nutzbare Wirkungen entwickeln. Die Kleinkauf-Stiftung fördert diese Themen der Grundlagenforschung zur Entwicklung von Projekten.

Kommutierungskurve $B(H)$ eines magnetischen Zweiges bei (a) orthogonaler Vormagnetisierung und (b) gemischter orthogonaler und paralleler Magnetisierung [Küster, 2018]

Magnetization curve $B(H)$ of a magnetic branch at (a) orthogonal pre-magnetization and (b) mixed orthogonal and parallel magnetization [Küster, KDEE 2018]

of a linear $B(H)$ dependence leads to no interactions in the two orientations, results in a reciprocal distortion of the respective magnetization characteristic in the case of nonlinear dependence. A DC magnetic field can be generated both by a DC current source and by a permanent magnet. With the possible combinations, many usable effects can be developed in view of the diverse magnetic materials. The Kleinkauf Foundation promotes these basic research topics for the development of research projects.

Ansprechpartner

DIPL.-ING. FLORIAN FENSKY; MARC FASSHAUER, M.SC.

Titel

VERMESSUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON ELEKTROBAND FÜR NEUARTIGE STEL- GLIEDER UND LEISTUNGSELEKTRONIK

Konventionelle Kraftwerke wandeln mittels Generatoren die mechanische Rotationsenergie in elektrische Energie um. Um Energie aus erneuerbaren Quellen nutzen zu können, passen leistungselektronische Wandler die erzeugte elektrische Energie mittels getakteter Steuerverfahren an die Anforderungen des Energiennetzes an. Das heißt, es werden Energiewandler für Netzfrequenz eingesetzt, die zusätzlich noch mit einer Schaltfrequenz versehen sind. Für verschiedene Zwecke kommen hier induktive Bauelemente zum Einsatz.

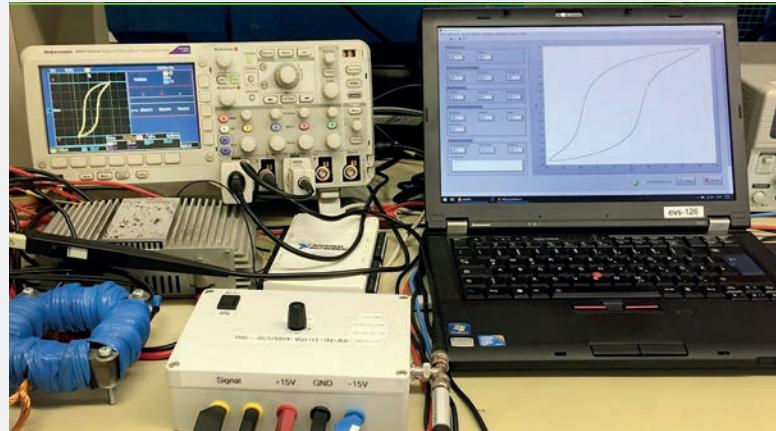
Aktuell werden Kernmaterialien aus Elektroband eingesetzt. Diese werden für netzfrequente Anwendungen beispielsweise durch die DIN-Normen EN-10106 und EN-10107 charakterisiert. Die Charakterisierung setzt zur Bestimmung der elektrischen und magnetischen Eigenschaften immer eine sinusförmige Spannungserregung voraus. Die gewonnenen Ergebnisse sind auch nur für diese Erregungsart gültig.

Heutzutage entstehen jedoch durch die getakteten Schaltungen rechteckförmige Spannungen und dreieckförmige Ströme. Außerdem beschreiben die DIN-Normen nicht die Effekte auf das Kernmaterial, die durch die Überlagerung eines Gleichfeldes mit einem Wechselfeld entstehen. Aktuell werden daher beispielsweise die Wirkverluste bedingt durch die Betriebsweise neuer Anwendungen mittels Umrechnungsfaktoren anhand der DIN-Normen abgeschätzt.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsthemas ist es, Materialien unter der nicht-sinusförmigen Betriebsweise in Hinsicht auf Permeabilität, Wirkverluste und analytischer Modelle zu charakterisieren. Die Materialproben werden dabei automatisiert mit einem Prüfstand und PC-Auswertesystem mit GUI-Plattform erregt und vermessen. Die Messwerte werden zur späteren Verwendung und Analyse gespeichert. Dadurch können objektive Grundlagen für den Vergleich verschiedener Materialien bei anwendungsnahen Bedingungen geschaffen werden.

title

MEASUREMENT AND CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL STEEL FOR NOVEL ACTUATORS AND POWER ELECTRONICS



Prüfstand zur automatisierten Vermessung von Elektroband und Funktionsmustern
Test system for automated measurement of electrical steel strip and functional samples.

Conventional power plants convert the mechanical rotational energy into electrical energy by means of generators. In order to use energy from renewable sources, power electronic converters adapt the generated electrical energy to the requirements of the energy grid by means of switched control methods. That is, energy converters are used for grid frequency, which are additionally provided with a switching frequency. Inductive components are used here for various purposes.

Currently, core materials made of electrical steel are used. These are characterized for grid-frequency applications, for example, by the DIN standards EN-10106 and EN-10107. The characterization always requires a sinusoidal voltage excitation to determine the electrical and magnetic properties. The results obtained are valid only for this type of excitement.

Today, however, switched semiconductors produce rectangular voltages and triangular currents. In addition, the DIN standards do not describe the effects on the core material resulting from the superposition of a DC field with an AC field. Currently, for example, the power losses due to the mode of operation of new applications are estimated by means of conversion factors based on the DIN standards.

The aim of the present research topic is to characterize materials under non-sinusoidal operation in terms of permeability, power losses and analytical models. The material samples are automatically excited and measured with a test bench and PC evaluation system with GUI platform. The readings are saved for later use and analysis. This will provide an objective basis to compare different materials under application-related conditions..

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING

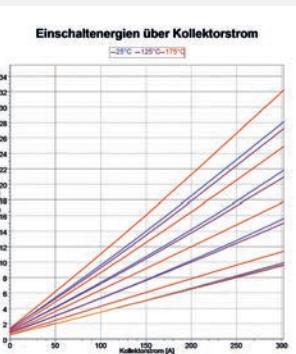
Titel

AUTOMATISIERTE KOMMUTIERUNGSZELLE

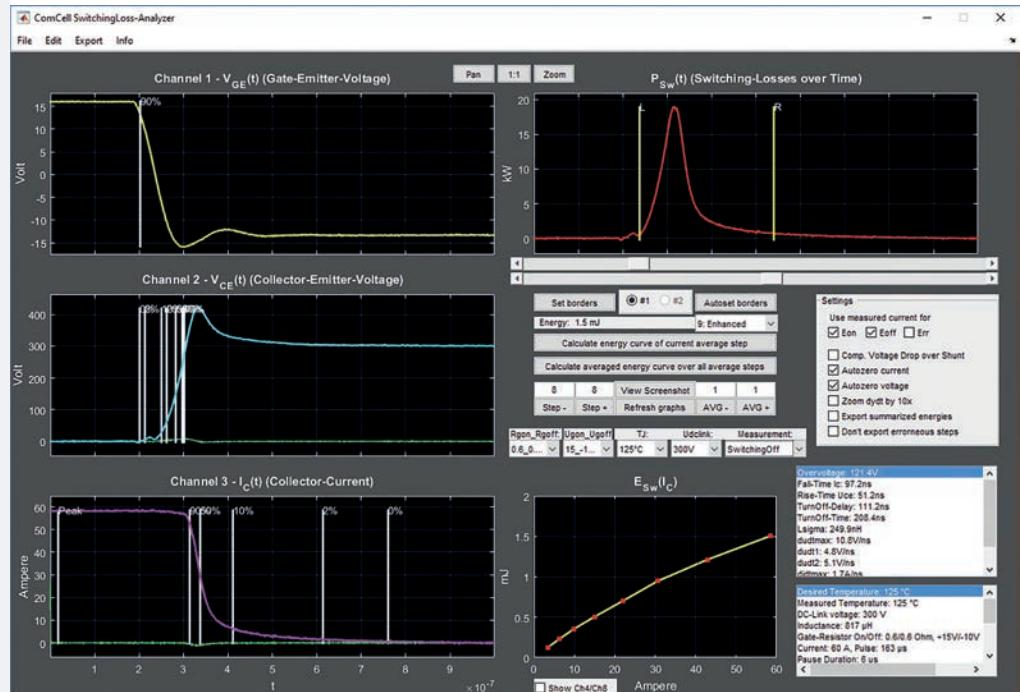
Seit 2011 wird am Fachgebiet EVS ein Messgerät zur automatisierten Erfassung und Auswertung von Halbleiterverlusten stetig weiterentwickelt. Da neueste Halbleiter – unabhängig ob auf Si-, SiC- oder GaN-Basis – von den Herstellern meist nur mit einem rudimentären Datenblatt an Forschungseinrichtungen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

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

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



Beispiel eines automatisch vermessenen Halbleiterschalter-Kennlinienfeldes.
Example of a automatically measured semiconductor characteristic diagram.

AUTOMATED COMMUTATION CELL

Hauptbildschirm der Auswertungssoftware.

Mainscreen of analysis software.

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

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

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

Ansprechpartner

DIPL.-ING. MANUEL MÜNCH; SEBASTIAN SPRUNCK, M.SC.

Titel

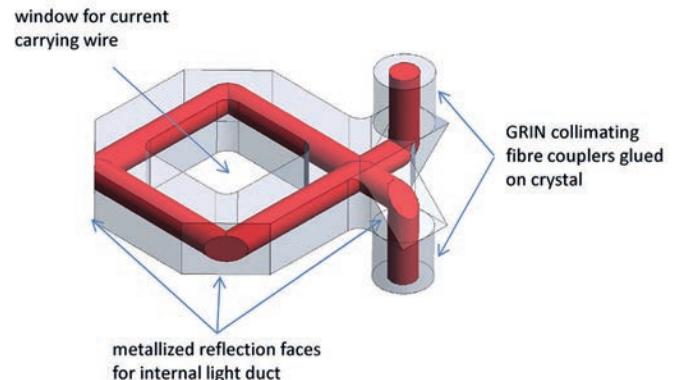
TRANSIENTER STROMSENSOR ZUR CHARAKTERISIERUNG DER SCHALTVERLUSTE VON WIDE BAND GAP HALBLEITERN



a) Koaxialshuntvarianten
a) coaxial shunt variants

title

TRANSIENT CURRENT SENSOR FOR CHARACTERIZATION OF SWITCHING-LOSSES WITHIN WIDE-BAND-GAP SEMICONDUCTORS



b) optischer Sensor zur Leiterplatteneinbettung
b) optical sensor for PCB embedding

Eingebettet in die Projekte „PV-Kraftwerke 2025“ und „HELENE“ wurde es notwendig, für die Schaltverlustcharakterisierung von WBG-Halbleitern Stromsensoren mit hoher Bandbreite und geringer Einfügedämpfung bzw. -induktivität zu entwickeln, was aktuelle, kommerzielle Stromsensoren nicht leisten. Um nun die tatsächlichen Schaltverluste zu bestimmen und keine Beeinflussung durch die Messtechnik zuzulassen, wurde eine koaxiale Anordnung sowie ein elektrooptisches Verfahren basierend auf dem Faradayeffekt näher untersucht und weiterentwickelt.

Beide Varianten sind zur Zeit noch in der Entwicklung, um z.B. thermomechanische Effekte auf das optische Kristall während des Einbettungsprozesses zu beurteilen. Wie Rechnungen zeigen, kann der Faradaysensor Bandbreiten um 1GHz sowie als PCB eingebettete Version < 300pH parasitische Induktivität erreichen. Als Shuntversion zeichnen sich optimale Geometrien z.B. Knopf-Bauform mit radialer Durchströmung ab, welche jedoch ebenfalls noch messtechnisch untersucht werden muss.

Embedded in the projects "PV Power Plants 2025" and "HELENE", it became necessary to develop high bandwidth, low insertion loss and low inductive current sensors for the switching loss characterization of WBG semiconductors, which current commercial current sensors do not provide. In order to determine the actual switching losses and to allow almost no influence by the measurement technique, a coaxial arrangement and an electro-optical method based on the Faraday effect was investigated and developed further.

Both variants are currently under development, to e.g. assess thermomechanical effects on the optical crystal during the embedding process. As calculations show, the Faraday sensor can achieve bandwidths of 1 GHz as well as <300pH parasitic inductance when embedded into a PCB. Shunt versions are characterized by optimal geometries, e.g. Button-style design with radial current flow which, however, must also still be examined by further measurements.

Ansprechpartner

DR.-ING. CHRISTIAN NÖDING

Titel

**LABORINFRASTRUKTUR: ELEKTRISCHE
CHARAKTERISIERUNG VON KOMPONENTEN**

title

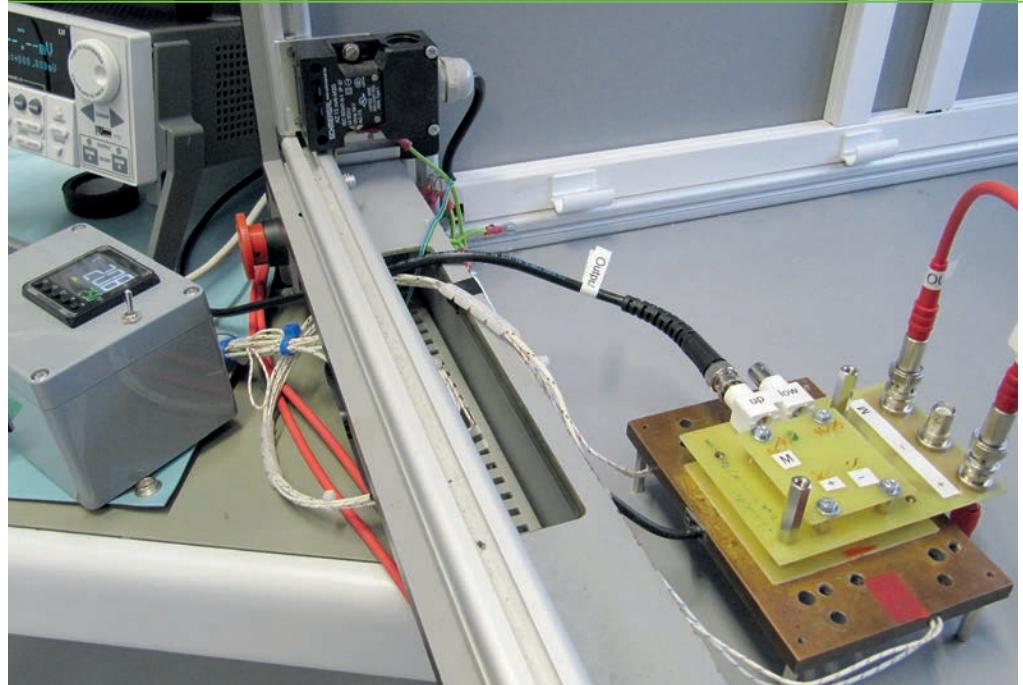
**LABORATORY EQUIPMENT: ELECTRICAL
CHARACTERISATION OF COMPONENTS**

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

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

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

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



Halbleiter-Charakterisierung in einer Schaltzelle
Semiconductor characterisation in a switching cell

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

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

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

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

Ansprechpartner

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

Titel

LABORINFRASTRUKTUR: THERMISCHE CHARAKTERISIERUNG VON KOMPONENTEN

title

LABORATORY EQUIPMENT: THERMAL CHARACTERISATION OF COMPONENTS

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

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



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

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

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

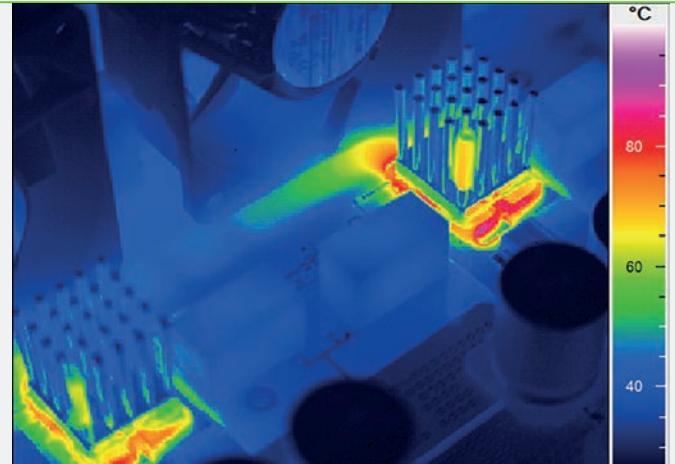
Zur Untersuchung von thermischen Zyklen oder Langzeitbelastungen steht ein moderner **Klimaschrank** zur Verfügung. Einzelne Bauelemente oder ganze Schaltgruppen können hierin auf Ihr Verhalten bei besonderen klimatischen Gegebenheiten wie z.B. hoher oder niedriger Umgebungstemperaturen (-40 bis 180°C)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

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

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

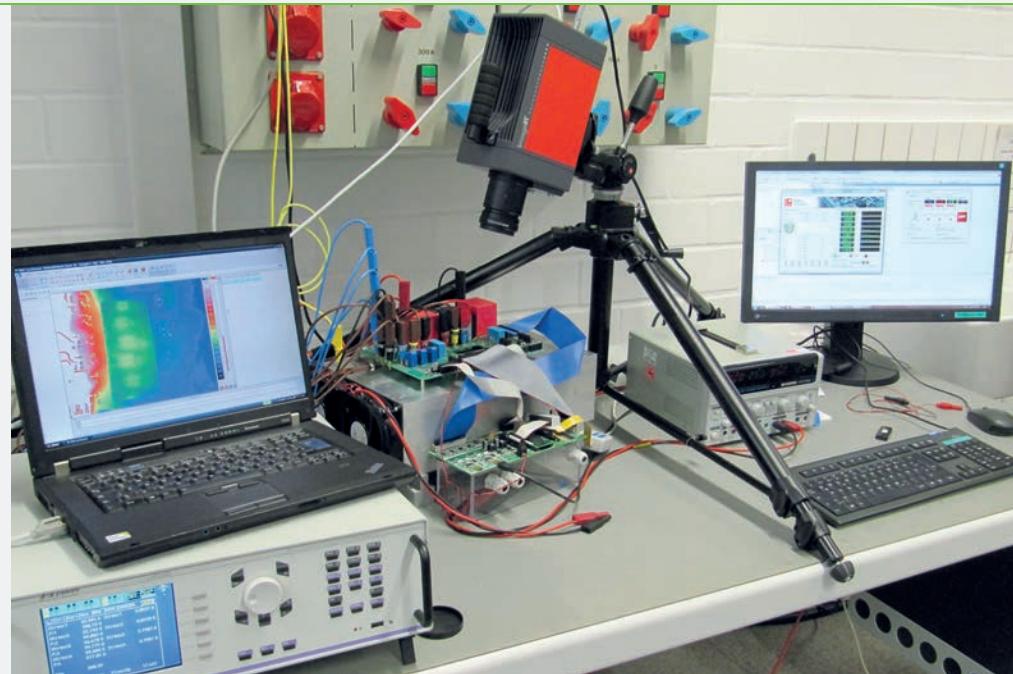
dation durch Temperaturwechsel, Feuchte (z. B. H3TRB Test) oder hohe Temperaturen durchgeführt werden. Dadurch können z. B. Rückschlüsse auf den Einsatz der Bauelemente in rauen Umgebungsbedingungen oder auf deren zu erwartende Lebensdauer gezogen werden.

Weiterhin steht dem Fachgebiet ein **Kalorimeter** zur Verlustleistungsbestimmung von elektrischen Komponenten und Schaltungen zur Verfügung. Hier kann die Verlustleistung unter realitätsnahen Betriebsbedingungen bestimmt werden. Kalorimetrische (wärmemengenbasierte) Verlustleistungsbestimmungen sind vor allem bei Bauelementen und Schaltungen sinnvoll, welche sehr hohe Wirkungsgrade (>99%), also minimale Verluste, aufweisen. Rein elektrische Messungen bieten hier in der Regel nicht die erforderliche Genauigkeit.



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

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



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

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

Ansprachpartner

JONAS PFEIFFER, M.SC.; SEBASTIAN SPRUNCK, M.SC.

title

2018 IEEE INTERNATIONAL FUTURE ENERGY CHALLENGE

Die IEEE International Future Energy Challenge ist ein internationaler Studierendenwettbewerb der Leistungselektronik. Die Studierenden sollen dabei selbstständig einen funktionsfähigen Prototyp gemäß den vorgegebenen Spezifikationen entwickeln. Die Themenstellung wechselt dabei jährlich.

Bereits in den Jahren 2011 und 2013 nahm das KDEE an dem Wettbewerb teil. Beide Teams zogen ins Finale ein und wurden dort jeweils mit dem Preis für das „Beste innovative Design“ ausgezeichnet. An diese Serie wollte das Fachgebiet EVS anknüpfen und stellte ein Team aus freiwilligen engagierten Studentinnen und Studenten zusammen.

Das Team des KDEE wurde aus 29 teilnehmenden Mannschaften für das Halbfinale ausgewählt und nahm in diesem Zusammenhang im März 2018 mit 16 weiteren Halbfinalisten an einem Workshop im Rahmen der Applied Power Electronics Conference in San Antonio, Kalifornien, USA teil.

Leider schafften es die Studierenden in diesem Jahr nicht, als einer der insgesamt zehn Finalisten ausgewählt zu werden. Trotz des Ausscheidens im Wettbewerb ist das Team weiterhin motiviert, das Projekt weiterzuführen und den Konverter fertigzustellen. Die Studentinnen und Studenten strukturierten und organisierten sich neu, sodass aus den einzelnen Arbeitspaketen separate Projekt- und Bachelorarbeiten entstehen konnten.

Der finale Aufbau des Prototypen befindet sich momentan in der Endphase und soll nach Fertigstellung präsentiert werden.

Die Studierenden sowie das KDEE möchten sich herzlich bei den Sponsoren für ihre großzügige Unterstützung bedanken.



Studierenden-Team der Universität Kassel
Student-Team of the University of Kassel

The IEEE International Future Energy Challenge is an international competition for students in the field of power electronics. The students have to design a functional prototype according to the given specifications independently. The concrete topic changes each year.

The KDEE already took part in the competition in 2011 and 2013. In both years the teams made their way into the finals and got awarded for the “Best innovative Design”. The department EVS wanted to carry on that series.

Our student team was chosen for semi-finals out of 29 participating teams worldwide and joined a workshop together with 16 other student teams during the Applied Power Electronics Conference in San Antonio, California, USA, in March 2018.

Unfortunately our team was not one of the ten finalists. Nevertheless the students are motivated to continue the project and build the prototype. After a phase of reorganisation the different tasks have been divided into several bachelor theses respectively scientific project works for each student.

Currently the final prototype is under construction and will be presented after completion.

The student team and the KDEE thank our sponsors for their generous support.



Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

BUCHVERÖFFENTLICHUNG "MAGNETISCHE BAUELEMENTE"

Das Buch behandelt ausgehend von den Grundlagen der Theorie elektromagnetischer Felder Methoden zur Beschreibung und Gestaltung elektromagnetischer Bauelemente. Dabei werden sowohl lineare als auch nichtlineare Bauelemente behandelt. Für elektrische Simulationen werden so die erforderlichen Ersatzschaltbilder abgeleitet. Einflussmöglichkeiten über Vormagnetisierung von Abschnitten werden behandelt. Umfangreich wird auf messtechnische Charakterisierung, Modellbildung sowie Fehlermöglichkeiten und Modellgrenzen eingegangen. Im Buch sind besondere Designaspekte mit Beispielen aus einer mehr als 30 Jahre währenden Entwicklertätigkeit in verschiedenen Bereichen in einem gesonderten Kapitel illustriert.

Der Inhalt

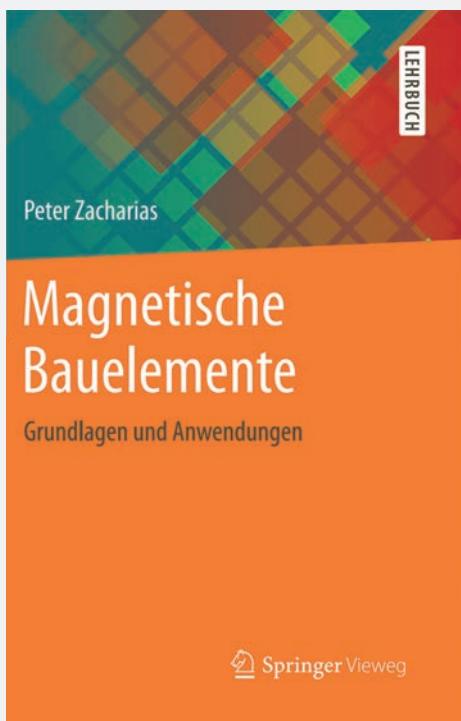
- Das magnetostatische Feld
- Wirkung zeitlich veränderlicher Magnetfelder
- Magnetische Eigenschaften von Werkstoffen
- Optimierung elementarer weichmagnetischer induktiver Bauteile
- Transformation magnetischer und elektrischer Kreise
- Berechnung und Modellierung von linearen Magnetfeldabschnitten in magnetischen Bauelementen
- Charakterisierung von induktiven Bauelementen
- Zusammenhang von Schein-Leistung und Volumen bei induktiven Bauelementen
- Approximation empirischer Kennlinien
- Applikationsbeispiele magnetischer Bauelemente

Die Zielgruppen

Ingenieure und angehende Ingenieure (Masterstudiengang) mit den Schwerpunkten Energietechnik, Mechatronik, Medizintechnik, elektromagnetische Verträglichkeit

Ingenieure mit dem Schwerpunkt Marketing und ggfs. auch Vertrieb elektrischer Geräte und Anlagen

Erscheinen: Mitte 2019, ca. 600 S., Sprache: Deutsch



title

BOOK "MAGNETIC COMPONENTS"

Based on the fundamentals of the theory of electromagnetic fields, the book deals with methods for the description and design of electromagnetic components. Both linear and nonlinear components are treated. For electrical simulations, the required equivalent circuit diagrams are derived. Influences on biasing sections are discussed. Extensive attention will be paid to metrological characterization, modeling as well as possibilities of error and model boundaries. The book illustrates special design aspects with examples from more than 30 years of development work in various application fields in a separate chapter.

The content

- The magnetostatic field
- Effect of time-varying magnetic fields
- Magnetic properties of materials
- Optimization of elementary soft magnetic inductive components
- Transformation of magnetic and electrical circuits
- Calculation and modeling of linear magnetic field sections in magnetic devices
- Characterization of inductive components
- Connection of apparent power and volume in inductive components
- Approximation of empirical characteristics
- Application examples of magnetic components

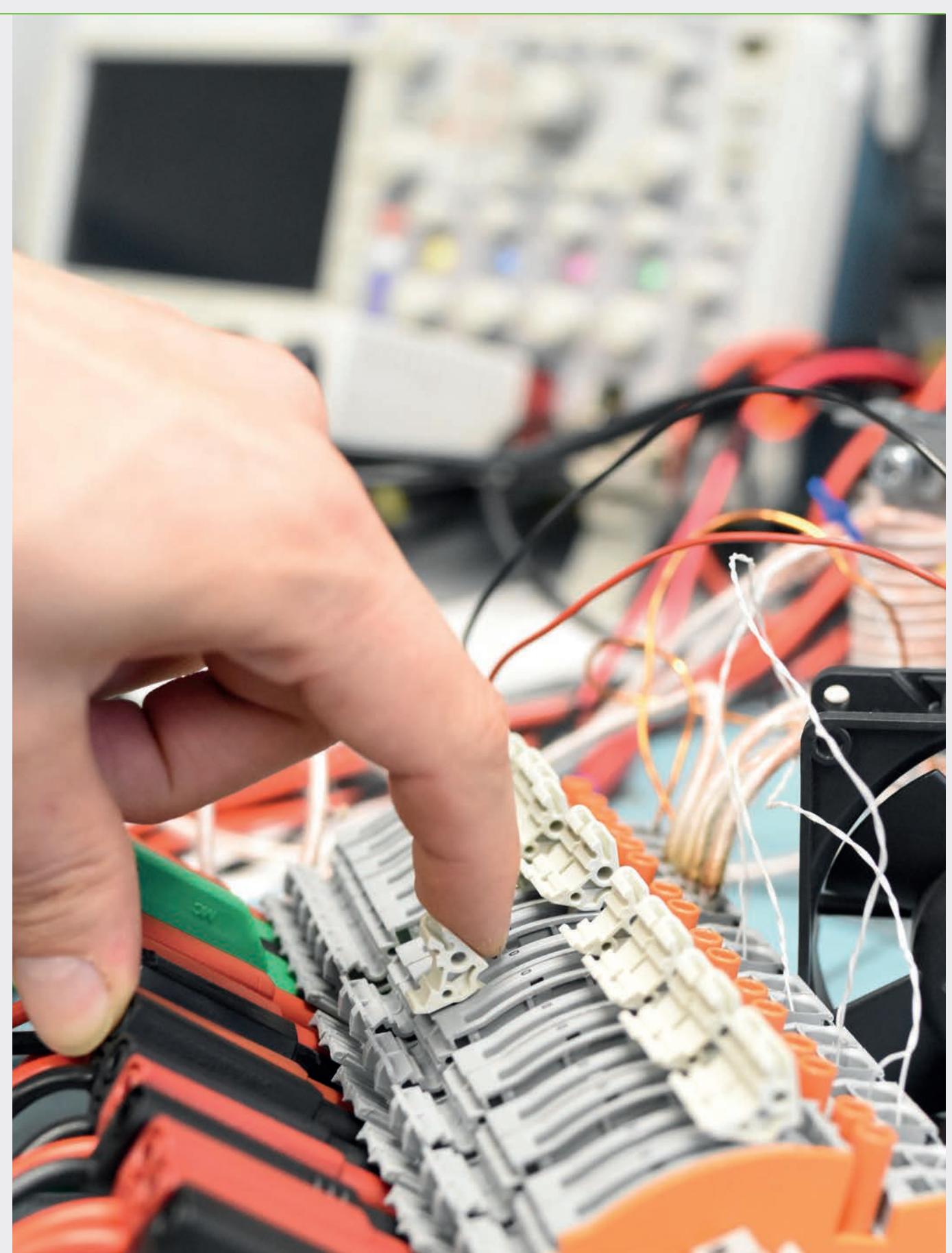
The target groups

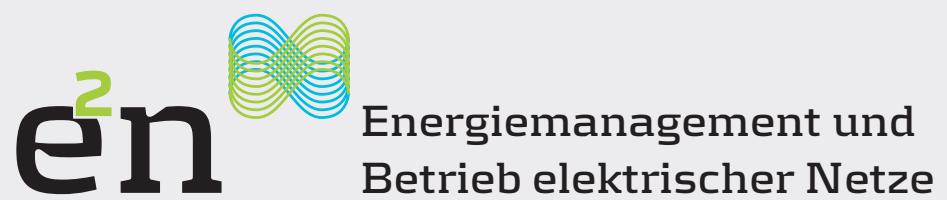
Engineers and prospective engineers (master's course) with a focus on energy technology, mechatronics, medical technology, electromagnetic compatibility

Engineers with a focus on marketing and possibly also sales of electrical equipment and systems

Appearance: mid-2019, about 600 pages, language: German







Energiemanagement und
Betrieb elektrischer Netze

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. MARTIN BRAUN

Titel

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

title

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



Das Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n) wurde im September 2012 im Fachbereich Elektrotechnik / Informatik gegründet. Das Fachgebiet als Teil des KDEE und in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IEE 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 Netz-dienstleistungen
- Verfahren für Energie- und Netzmanagement/Automatisierungs-lösungen in dezentralen Versorgungsstrukturen mit verschiedenen Aggregations- und Anreizkonzepten
- Verfahren für automatisierte Netzplanung/optimiertes System-design
- Lösungen für robustes Systemverhalten im Fehlerfall und für den Netzwiederaufbau

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

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

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

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

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



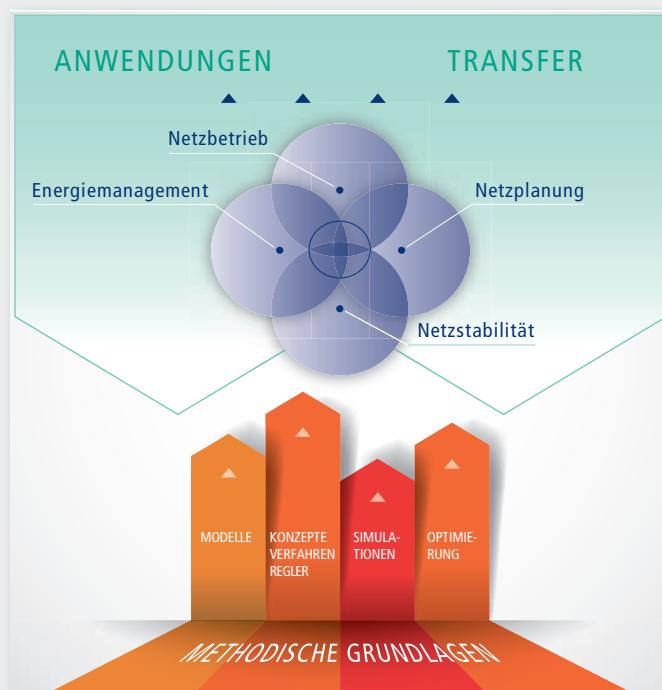
Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
Leiter des Fachgebiets e²n
Abteilungsleiter Betrieb
Geschäftsfeldkoordinator Netzplanung und
Netzbetrieb, Fraunhofer IEE

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

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

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

The department is part of the Centre of Competence for Distributed Power Technology (KDEE) and cooperates closely with the Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology IEE 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.



Ansprechpartner

DIPL.-ING. CHRISTIAN HACHMANN; GUSTAV LAMMERT, M.SC.

Titel

NETZ:KRAFT – NETZWIEDERAUFBAU MIT ZUKÜNSTIGEN KRAFTWERKSSTRUKTUREN

title

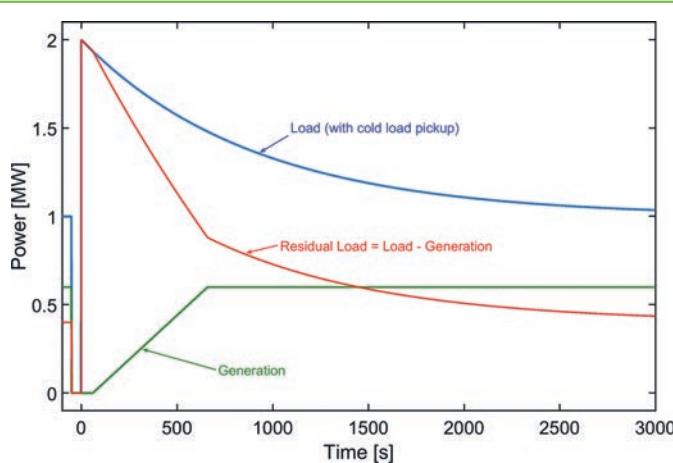
NETZ:KRAFT – POWER SYSTEM RESTORATION WITH A FUTURE POWER PLANT PARK

Abbildung 1 Exemplarischer modellierter Erzeugungs-, Last- und Residuallastverlauf eines Verteilnetzabgangs nach Netzwiederzuschaltung

Figure 1 Exemplary modelled load, generation and residual load time series of a distribution feeder reconnecting after an outage

Im Rahmen des Forschungsprojekts NETZ:KRAFT untersuchte das Fachgebiet e²n die Chancen und Herausforderungen, die sich für den Netzwiederaufbau nach Großstörungen (Blackouts) aus der zunehmenden Verbreitung dezentraler erneuerbarer Erzeugung ergeben. Schwerpunkt war der Aufbau und Betrieb von Verteilnetzinseln sowie die Interaktion zwischen Verteil- und Übertragungsnetz.

Am Fachgebiet e²n wurden in Zusammenarbeit mit Verteilnetzbetreibern Fallstudien durchgeführt, die existierende Netze, Kraftwerks- und Verbrauchsstrukturen sowie mögliche Zukunftsszenarien abbilden. Zu diesem Zweck wurden im Projektverlauf Anforderungen und Grenzen der Simulationsstudien definiert und Simulationsmodelle für die verschiedenen Typen der Erzeugungsanlagen sowie Netzäquivalente, die sowohl dezentrale Erzeugung als auch typische Lasten sowie deren Verhalten nach Netzausfällen (siehe Abbildung 1) nachbilden, erstellt. Basierend darauf wurde der Einfluss verschiedener Betriebsweisen dezentraler Erzeugungsanlagen in Form von unterschiedlichen Wirkleistungs-Frequenz-Kennlinien auf die Frequenzhaltung einer kleinen Netzinself untersucht.

Im weiteren Verlauf wurde für unterschiedliche Erzeugungs-, Last- und Ausbausituationen jeweils der Einfluss von Einstellungen und Betriebsweisen erneuerbarer Erzeugungsanlagen untersucht. Zur Durchführung dieser Untersuchungen wurde die Simulation der jeweils relevanten Abläufe beim Netzwiederaufbau möglichst weitgehend automatisiert. Dabei wurden insbesondere auch die in Netzleitwarten getroffenen Entscheidungen sowie mögliche teilautomatisierte Entscheidungsabläufe (siehe Abbildung 2) nachgebildet. Auf diese Weise konnte eine große Anzahl an Varianten untersucht werden um Aussagen über den Umfang, Zeitdauer und Zuverlässigkeit zu treffen, mit denen ein Netzwiederaufbau unter

In the project NETZ:KRAFT, the department e²n investigated the opportunities and challenges that arise from the increasing penetration of decentral renewable energy resources for power system restoration. The main focus was the formation and operation of island grids within the distribution system.

In collaboration with distribution network operators, case studies are designed that represent existing grids, plants and consumption profiles as well as possible future scenarios. For this purpose, requirements and limitations for the investigation have been defined. According to the requirements, simulation models for the relevant generation units have been implemented. In addition, distribution system equivalents have been developed to represent the combined behaviour of distributed generation and load (see Figure 1). Based on these models, the influence of different operation strategies for distributed renewables on the operation of small islands grid was investigated.

In the further course of the project, the influence of operating modes and settings of renewable generation units was investigated for various scenarios considering available generation, load and the state of the power system. In order to facilitate these investigations, the relevant processes were automated as far as possible. In particular, decisions made at the control center of the relevant power system operators and possible semi-automatic decision-making were implemented (see Figure 2). In this way, a large number of variants could be investigated to derive results on the extent, duration and reliability of power system restoration under the relevant circumstances. This includes build-up and operation of a city island system under a variety of load and generation situations. Furthermore, black start of a gas turbine

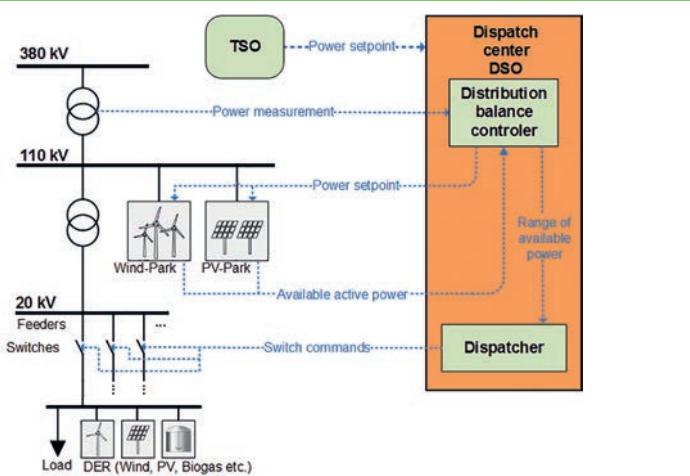


Abbildung 2 Mögliche teilautomatisierte Wirkleistungsregelung auf Verteilnetzebene zur Unterstützung des Netzwiederaufbaus

Figure 2 Scheme of semi-automatic active power control at distribution system level for support of power system restoration

den jeweiligen Rahmenbedingungen gelingt. Insbesondere wurde der Inselnetzaufbau und -Betrieb einer Großstadt für eine Vielzahl von Last- und Erzeugungssituationen sowie der Schwarzstart eines Gaskraftwerks mit Hochspannungsanschluss mittels Hilfsenergieversorgung durch ein in der Mittelspannung angeschlossenes kleineres Kraftwerk betrachtet.

Anhand der Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen, sowie betrieblicher und technischer Demonstrationen, die im Projektconsortium durchgeführt wurden, folgte eine Diskussion zwischen allen Partnern über sich daraus ergebende Potenziale und Handlungsbedarfe.

Ein Ergebnis des Projektes sind Empfehlungen für zukünftige Funktionalitäten dezentraler Erzeugungsanlagen, deren kommunikative Anbindung und Nutzung im Netzwiederaufbau sowie Erweiterungsvorschläge für Prozesse bei Netzbetreibern und zur netzebenenübergreifenden Koordination.

plant with high voltage connection by provision of cranking power from a smaller, medium voltage connected plant, was considered.

These results, as well as findings from operational and technical demonstrations conducted within the project consortium, were discussed between the partners in order to identify potentials and necessary actions.

A result of the project is a set of recommendations for future functionalities of decentral generation units as well as the communication involved in power system restoration. Furthermore, the processes of power system operators and their coordination were considered and recommendations for improvements were made.

Weitere Informationen zu NETZ:KRAFT unter: <http://forschung-stromnetze.info/projekte/netzwieder-aufbau-mit-zukuenftigen-kraftwerkstrukturen>.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

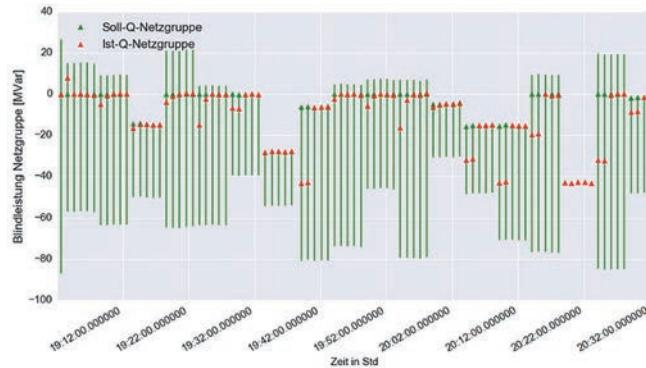
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
unter dem Förderkennzeichen 0325776J

Ansprechpartner

DR. SEBASTIAN WENDE VON BERG; ZHENG LIU, M.SC.

Titel

SysDL 2.0: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN AUS FLÄCHENVERTEILNETZEN



Labortest: Simulationsergebnisse für Anwendungsfall Blindleistungsbereitstellung von Netzgruppe Q=0MVar

Laboratory test: Simulation results for use case reactive power provision of network group Q=0MVar

Im Zentrum des Projekts SysDL 2.0 stand die Entwicklung eines innovativen Betriebsführungsmoduls, das die Blindleistungseinspeisung von dezentralen Erzeugungsanlagen, wie Windkraft- und PV-Anlagen, optimiert. Diese Optimierung wird eingesetzt, um verschiedene Zielsetzungen aus unterschiedlichen Anwendungsfällen im Bereich der Systemdienstleistungen zu erreichen, bspw. Spannungshaltung, Blindleistungsbereitstellung, etc.

Zur Erfassung der exakten Kenntnisse des Netzzustandes im Verteilnetz für Optimierung wurde vom Fachgebiet e²n eine Zustandsschätzung implementiert. Darüber hinaus war das Fachgebiet e²n maßgeblich beteiligt an der Identifikation eines geeigneten echtzeitfähigen Optimierungsalgorithmus, da die Betriebsführung sowohl im Labortest als auch im Feldtest eingesetzt werden soll. Um die Funktionstüchtigkeit des entwickelten Betriebsführungsmoduls im Feldtest zu gewährleisten, hat das Fachgebiet e²n umfassende Testszenarien konzipiert und umgesetzt, und hat auf Basis davon Labortesten (s. Grafik a) in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IEE durchgeführt. Nach erfolgreichen Feldtesten (s. Grafik b) bei den Verteilnetzbetreibern MITNETZ Strom und ENSO Netz ist das Betriebsführungsmodul in Betrieb gegangen.

Neben diesen beiden Verteilnetzbetreibern kooperierte das Fachgebiet e²n in diesem Projekt mit dem Übertragungsnetzbetreiber 50 Hertz, der TU Dresden sowie weiteren Partnern aus der Industrie.

Weitere Informationen zu SysDL 2.0 unter www.sysdl20.de.

Gefördert durch:

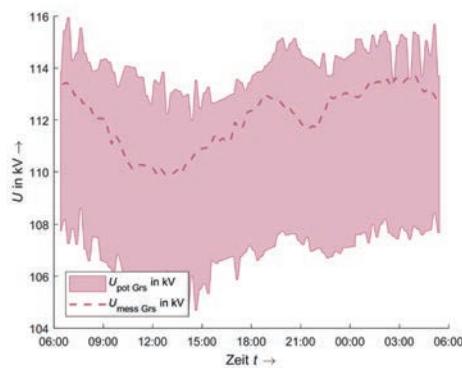


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

title

SysDL 2.0: SYSTEM ANCILLARY SERVICES FROM DISTRIBUTION GRIDS



Feldtest: Verlauf des Blindleistungspotentials am Beispiel NVP über einem Tag
Field test: Daily reactive power potential curve at network connection point

The main goal of the project SysDL 2.0 is to develop of a grid operation module that optimizes the reactive power feed-in of the distributed generators such as wind and PV parks. This optimization is used to solve different problems from various use cases in the area of system ancillary services such as, voltage control, reactive power provision, etc.

To obtain the exact knowledge of the network state in distribution network for optimization, the department e²n has implemented a state estimation. Furthermore, the department e²n played a key role in the identification of an appropriate and real-time capable optimization algorithm, since the grid operation module should be used both in laboratory test and in field test. In order to ensure the functionality of the developed grid operation module in the field test, the department e²n has designed and generated comprehensive testing scenarios, and has carried out laboratory test based on these testing scenarios (see Figure a), in cooperation with Fraunhofer IEE. After successful field test (see Figure b) at the distribution system operators MITNETZ Strom and ENSO Netz, the grid operation module has been put into operation.

In addition to these two distribution system operators, the department e²n cooperates within this project with the transmission system operator 50 Hertz, TU Dresden and further partners from industry.

For further information on SysDL 2.0, please visit www.sysdl20.de.



Ansprechpartner

KAI FISCHBACH, M.SC.; ALEXANDER KLINGMANN, M.SC.; GUSTAV LAMMERT, M.SC.

Titel

NETZREGELUNG 2.0: REGELUNG UND STABILITÄT IM STROMRICHTER-DOMINIERTEN VERBUNDNETZ

Der Zubau Erneuerbarer Energien erfolgt stromrichter gekoppelt und dezentral auf niedrigeren Netzebenen, wobei das Ablösen konventioneller Großkraftwerke den Verlust netzbildender mechanischer Trägheit mit sich bringt. Um die Netzstabilität auch ohne Synchrongeneratoren gewährleisten zu können, werden neue, spannungseinprägende Stromrichter-Regelungen benötigt.

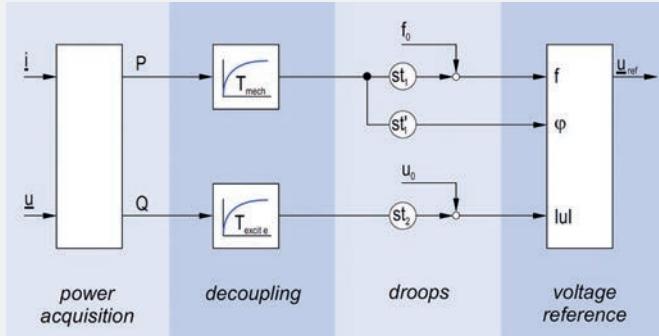
Im Forschungsprojekt „Netzregelung 2.0“ soll die Dynamik des Energiennetzes der Zukunft und deren potentielle Regelungen untersucht und stabilitätsgewährleistende Anforderungen definiert werden. Das Fachgebiet e²n untersucht im Rahmen des Projektes „Netzregelung 2.0“ die Interaktionen zwischen Synchrongeneratoren und spannungseinprägenden Stromrichtern unter Berücksichtigung der Kurzzeitspannungsstabilität und der transienten Rotorwinkelstabilität. Die Untersuchungen basieren auf Simulationen und Laborexperimenten.

Kurzzeitspannungsinstabilität wird auch als transienter Spannungs kollaps bezeichnet und kann mitunter zum Ausfall des gesamten Energieversorgungssystems führen, wobei insbesondere die Dynamiken von Asynchronmotoren relevant sind. Die physikalische Trägheit des Netzes korreliert mit der vorhandenen kinetischen Energie im Energiesystem, welche bis zu einem gewissen Maße bereitgestellt werden kann, ohne dass Frequenz- oder Winkelabweichungen überschritten werden. Auf Grund des größer werdenden Anteils stromrichter gekoppelter Erzeugungsanlagen, verringert sich die physikalisch Trägheit in Form rotierender Massen im Energiesystem. Dieser Effekt muss in zukünftigen Regelungsverfahren berücksichtigt werden.

Zum aktuellen Zeitpunkt befasst sich das Fachgebiet mit der EMT-Modellierung von spannungseinprägenden Regelungsverfahren, wie z.B. SelfSync™. Dieses Verfahren ist in Abbildung 1 gezeigt. Der Ansatz zur Netzregelung ist ähnlich dem Synchronmaschinen-Verhalten. Das Verfahren berücksichtigt dabei $f(P)$ - und $U(Q)$ -Statiken um das Netz zu regeln. Die Leistungsmessung ist ein- oder dreiphasig möglich und es wird keine Phasenregelschleife benötigt. Die Herausforderung ist dieses Verfahren im stromrichter-dominierten Verbundnetz zu testen.

title

NETZREGELUNG 2.0: CONTROL AND STABILITY IN CONVERTER-DOMINATED BULK POWER SYSTEMS



Spannungseinprägendes Regelungsverfahren (Quelle: A. Engler, „Vorrichtung zum gleichberechtigten Parallelbetrieb von ein- oder dreiphasigen Spannungsquellen“, Patent, 2006.)
Grid-forming control (Source: A. Engler, „Vorrichtung zum gleichberechtigten Parallelbetrieb von ein- oder dreiphasigen Spannungsquellen“, Patent, 2006.)

The increasing number of renewable energy generators is inverter-coupled, distributed and mostly connected to lower voltage levels. The replacement of conventional large-scale power plants results in the loss of mechanical inertia. In order to guarantee future grid stability, new requirements and control approaches of inverter-based generation are necessary.

In the research project “Netzregelung 2.0”, power system dynamics of the future grid and relevant controls are investigated and requirements to ensure overall system stability are defined. Within “Netzregelung 2.0”, the department e2n investigates the interactions between synchronous generators and new grid-forming control methods considering short-term voltage stability and transient rotor angle stability. The aforementioned investigations are focussed on both, simulations and experimental tests in the laboratory.

Short-term voltage instability is also known as transient voltage collapse and can lead to a blackout of the entire power system. In this context, the dynamics of induction motors are of particular relevance. The physical inertia of the power system correlates with the kinetic energy that can be provided to a certain extent without exceeding certain frequency or voltage limits. Due to the increasing penetration of inverter-based generation, the future power system is very likely to have less physical inertia in form of rotating masses in the grid. This effect must be taken into account for future control methods of inverter-based generation.

The recent investigations of the department are focussed EMT-based modelling of grid-forming control methods, such as SelfSync™. This control method is depicted in Fig. 1. The method is similar in many aspects to the dynamic behavior of synchronous machines. It incorporates $f(P)$ and $V(Q)$ droops to control the grid. A single phase or three phase power measurement is possible and it is no phased-locked loop required. The new contribution is to test this control method in converter-dominated bulk power systems.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0350023C**

Ansprechpartner

DR.-ING. LEON TURNER; JANNIS KUPKA, M.SC.

Titel

ANaPLAN – AUTOMATISIERTE NETZAUSBAU- PLANUNG IM VERTEILNETZ

title

ANaPLAN

Die Komplexität der Verteilnetzplanung nimmt mit wachsender dezentraler Erzeugung und den daraus resultierenden bidirektionalen und stark volatilen Lastflüssen immer weiter zu.

Das Projekt ANaPlan wurde initiiert, um eine automatisierte Verteilnetzausbauplanung zu entwickeln, mit Hilfe derer die steigenden Planungskomplexität begegnet werden kann. Ziel war es, die Abhängigkeiten zwischen Netzausbau und Assetmanagement anhand eines automatisierten Netzausbauplanungsprozesses zu untersuchen und damit neben technischen Entscheidungskriterien auch den Zustand und das Alter von Netzassets berücksichtigen zu können.

Für die automatisierte Netzausbauplanung wurden verschiedene heuristische Optimierungsverfahren entwickelt, die in der Lage sind, ein bestehendes Netz unter Berücksichtigung verschiedener Erzeugungs- und Lastszenarien kostenoptimal auszubauen.

Neben konventionellen Netzausbaumaßnahmen, wie beispielsweise Leitungs- oder Transformatorenaustausch, können zusätzlich neue Ausbaumaßnahmen wie z.B. regelbare Ortsnetztransformatoren und neue Betriebsführungsstrategien für dezentrale Erzeugungsanlagen zur Einhaltung der Optimierungsrandbedingungen eingesetzt werden. Die Randbedingungen umfassen sowohl technische Grenzen und topologische Vorgaben, sowie Anforderungen an Alter und Zustand von Netzassets, die für die Versorgungssicherheit und –zuverlässigkeit relevant sind.

The complexity of the distribution grid expansion planning is increasing due to bidirectional and highly volatile load flows which result from the increasing decentralized generation of electrical power. The project ANaPlan was initiated to develop an automated distribution grid expansion planning method to face the increasing complexity of the expansion planning process. This project's aim was to analyse the interdependencies between grid expansion and asset management with an automated grid expansion planning process to be able to respect the condition and the age of grid assets beside technical decision criteria.

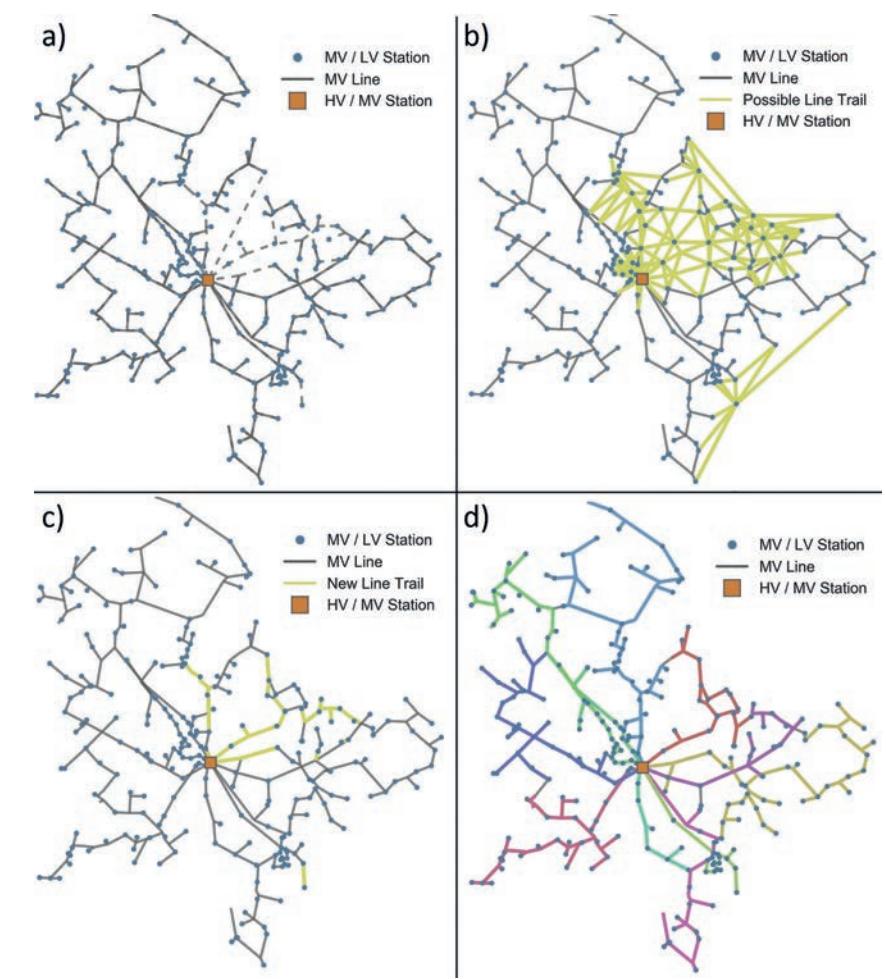
Different heuristic optimization approaches were developed for the automated grid expansion which are able to expand and reinforce an existing grid at minimum cost with respect to different scenarios for load and generation. Beside conventional expansion measures like line and transformer replacement new measures like controllable transformers and new operational control strategies for decentralized generators can be applied to comply with the constraints of the optimization. The constraints consist of technical limits and topological guidelines as well as requirements concerning the condition and age of grid assets, which are relevant for security and reliability of supply.

a) Ausgangsnetzstruktur mit zu entfernenden Leitungen (gestrichelt), b) potentielle Leitungen, die für die neue Netzstruktur berücksichtigt werden, c) optimierte Netzstruktur, d) radiale Abgangskonfiguration in optimierter Netzstruktur.
 a) Initial network with lines to remove (dotted), b) potential line trails considered for the new network structure, c) optimized network structure, d) radial feeder sectioning in optimized network structure.

Grafik: A. Scheidler, L. Thurner, M. Kraiczy, M. Braun: Automated Grid Planning for Distribution Grids with Increasing PV Penetration, 6th International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems, Vienna, Austria, November 2016

Die Abbildung zeigt das Beispiel einer Topologie-optimierung eines 10 kV Netzes des Verteilnetzbetreibers Westnetz GmbH. Die aufgrund ihres Alters zu erneuernden Leitungen sind in a) gestrichelt dargestellt, die als potentielle neue Leitungstrassen berücksichtigten Leitungen sind in b) dargestellt. Mit Hilfe der in ANaPlan entwickelten automatisierten Netzausbauplanung wird eine neue Netzstruktur gesucht, die bei einer minimalen Kabellänge sowohl alle topologischen (radiale Netzstruktur, n-1 Anbindung für Stationen) als auch alle betrieblichen (Spannungsband, maximale Leitungsauslastungen) Randbedingungen erfüllt. Die beste von der Optimierung gefundene Lösung ist in c) abgebildet und die radiale Netzstruktur ist in d) visualisiert. Während ein Ersatz in den alten Trassen ca. 31 km Kabel benötigt hätte, kommt die optimierte Netzstruktur mit nur ca. 25 km neuen Kabelkilometern aus.

Weitere Informationen zu ANaPlan unter: <http://forschung-stromnetze.info/projekte/automatisierte-netzausbauplanung-im-verteilnetz/>



The figure shows an example of a topology optimisation in a 10 kV network of the DSO Westnetz GmbH. The lines that have to be renewed due to old age in the target network are shown as dashed lines in subplot a). The possible new line trails that are considered in the optimization are shown in subplot b). The automated grid expansion developed in ANaPlan is used to find a new network topology that requires a minimum amount of cabling while complying with all topological (radial network structure, contingency junctions) and operational (voltage band, maximum line loading) constraints. The best solution that is found by the optimisation can be seen in subplot c) and the feeder configuration in subplot d) shows the radial segmentation of the network. While a renewal of the old line trails would have resulted in about 31 km of new cables, the optimized network structure leads to about 25 km of new line trails.

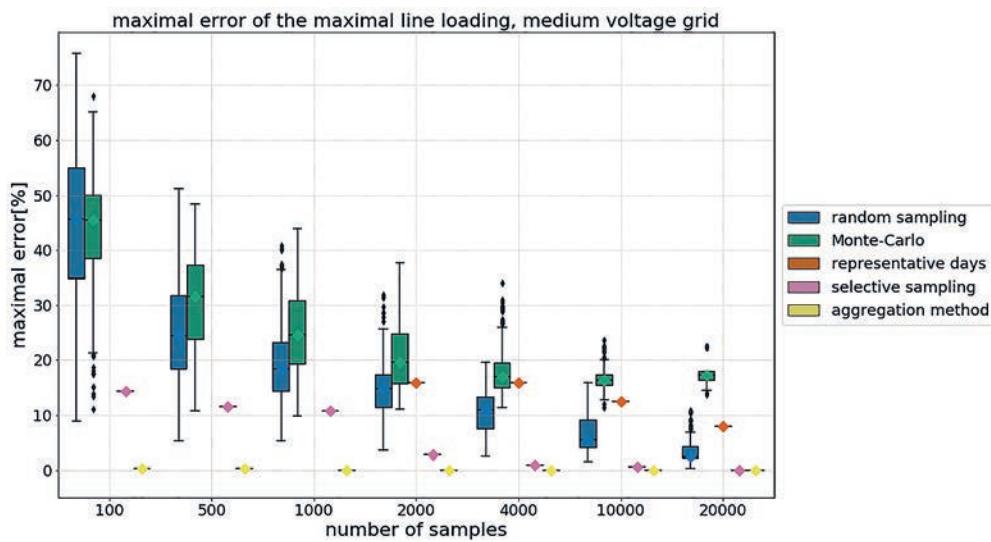
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner: Innogy, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IIE)

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



Dargestellt sind exemplarische Ergebnisse der Fallstudien im SimBench Mittelspannungsnetz. Für einige Methoden wird der maximale Fehler der maximalen Leitungsauslastung im Vergleich zur vollständigen Betrachtung einer Zeitreihe in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastflussrechnungen gezeigt. Teilweise sind diese gut geeignet die Ergebnisse einer Zeitreihensimulation mit deutlich reduzierter Rechenzeit zu approximieren.

Exemplary results of the case studies in the SimBench medium-voltage network are presented. For some methods the maximum error of the maximum line load in comparison to the complete consideration of a time series as a function of the number of load flow calculations is shown. Partly these are well suited to approximate the results of a time series simulation with significantly reduced computing time.

Das Ziel vom Projekt PrIME (Fachgebiete e²n, IES, Fraunhofer IEE) bestand in einer grundlagenorientierten Entwicklung von innovativen, probabilistischen Methoden in der Energiesystemtechnik. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf die Entwicklung von Sampling-Methoden zur Hochrechnung und probabilistischen Aggregation von probabilistischen Windeinspeiseprognosen für ganze Regionen gelegt. Außerdem wurde ein Lastprofilgenerator für die Synthesierung von Haushaltslastprofilen auf Basis der Disaggregation realer Lastprofile weiterentwickelt. Zusammen mit dem Fachgebiet e²n wurden verschiedene Methoden zur Verkürzung von Zeitreihen und damit der Rechenzeit in der zeitreihenbasierten Netzplanung entwickelt. Dabei sollen schon mit weniger zeitkritischen Lastflussrechnungen die in der Netzplanung relevanten maximale Auslastungen von Betriebsmitteln identifiziert werden. Diese Methoden wurden in Fallstudien mit SimBench Netzen in der Nieder- und Mittelspannung und einem realen Hochspannungsnetz untersucht. Hierbei zeigten einige der betrachteten Methoden das Potential in der zeitreihenbasierten Netzplanung in der Nieder- und Mittelspannung deutlich Rechenzeit einzusparen.

The aim of the project PrIME (departments e²n, IES and Fraunhofer IEE) was to develop innovative, probabilistic methods for application in energy systems. A special focus was placed on the development of sampling methods for the extrapolation and probabilistic aggregation of probabilistic wind feed forecasts for entire regions. Furthermore, a load profile generator for the synthesis of household load profiles based on the disaggregation of real load profiles was advanced. Together with the e²n department, various methods for shortening time series and thus the computing time in time-series-based grid planning were developed. The aim is to identify the maximum load factor of lines and transformers, which are critical for grid planning, with fewer time-critical load flow calculations. These methods were investigated in case studies with SimBench grids in low and medium voltage and a real high-voltage grid. Some of the methods considered showed the potential to significantly save computing time in time-series-based network planning in low and medium voltage.

Ansprechpartner
STEFFEN MEINECKE, M.SC.

Titel

SimBench

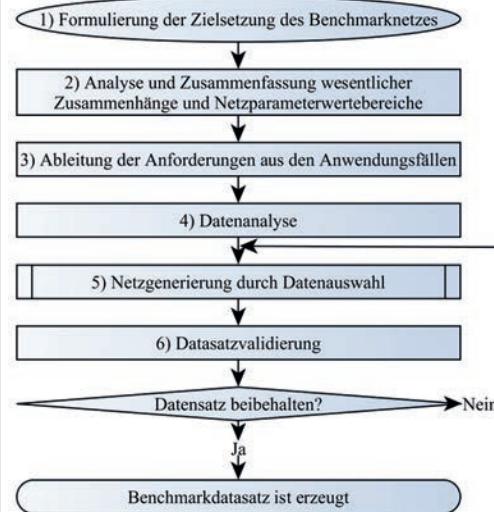
Simulationsdatenbasis zum einheitlichen Vergleich von innovativen Lösungen im Bereich der Netzanalyse, Netzplanung und -betriebsführung

Lösungen und Algorithmen zur Verbesserung von Netzanalyse, Netzplanung und Netzbetriebsführung können ohne Netzdaten üblicherweise nicht sinnvoll entwickelt werden. Auf Grund der Vertraulichkeit realer Netzdaten von Netzbetreibern ist eine Reproduzierbarkeit von Studienergebnissen mit solchen Daten nicht gewährleistet ist. Ebenso ist dadurch die Transparenz der Forschung eingeschränkt und eine Vergleichbarkeit von Lösungen und Algorithmen nicht gegeben. Das Forschungsprojekt SimBench vervollständigt und verbessert derzeit den entwickelten Benchmark-Datensatz, der zeitnah online bereitstehen wird und damit die Vergleichbarkeit verschiedener Entwicklungen, die auf symmetrischen Lastflussberechnungen basieren, erleichtert. Die Netzdaten werden in Form von vier verschiedenen Datenformaten bereitstehen: ein csv-Tabellen basiertes eigenes Format sowie für die verbreiteten Berechnungsprogramme pandapower, Integral und PowerFactory.

Die grundlegende Methodik (siehe Abbildung) verbessert die Transparenz des Vorhabens und wurde so zusammengestellt, dass Anforderungen und Zielsetzungen aller in Deutschland üblichen Spannungsebenen (Nieder- bis Höchstspannung) berücksichtigt werden können. Damit ist diese Methodik als allgemeine Methodik zu Erstellung von Benchmarknetz-Datensätzen einsetzbar.

Das Projekt wird in enger Kooperation mit den Konsortialpartnern IAEW der RWTH Aachen (Prof. Moser), ie³ der TU Dortmund (Prof. Rehtanz) und Fraunhofer IEE bearbeitet. Ein Industrieteam wurde aus fünf namhaften deutschen Verteilnetzbetreiber gebildet und begleitet das Projekt.

Nähere Informationen zum Projekt, der veröffentlichte Datensatz inklusive Dokumentation sowie Veröffentlichungen des Projekts, wie z.B. zur abgebildeten Methodik, finden Sie unter www.simbench.de



Flussdiagramm der allgemeinen Methodik zur Erstellung Benchmarknetz-Datensätzen, entwickelt und angewendet in SimBench
Flowchart of the general methodology for creating benchmark grid datasets, developed and applied in SimBench

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

Solutions and algorithms for improving network analysis, network planning and network operation usually cannot be developed reasonably without grid data. Due to the confidentiality of real grid data of network operators, a reproducibility of study results with such data is not guaranteed. Likewise, the transparency of research is limited and comparability of solutions and algorithms is not possible. The SimBench research currently completes and improves the developed benchmark dataset which will be available online in the near future thus improves the comparability of different developments based on symmetrical power flow analyses. The grid data will be available in four different data formats: a table based format of csv files as well as data for power flow calculation tools pandapower, Integral and PowerFactory.

The basic methodology (see figure) improves the transparency of the project and was compiled in such a way that requirements and objectives of all voltage levels common in Germany (low to extra high voltage) can be taken into account. Thus, this methodology can be used as a general methodology for creating benchmark grid datasets.

In this project, the research group e²n is working in close cooperation with the consortia partners IAEW of RWTH Aachen (Prof. Moser), ie³ of TU Dortmund (Prof. Rehtanz) and Fraunhofer IEE. In addition, an industry working group was formed and accompanied the project consisting of five considerable German distribution system operators.

Further information on the project, the published dataset including documentation as well as publications of the project, e.g. on the illustrated methodology, can be found at www.simbench.net

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Ansprechpartner

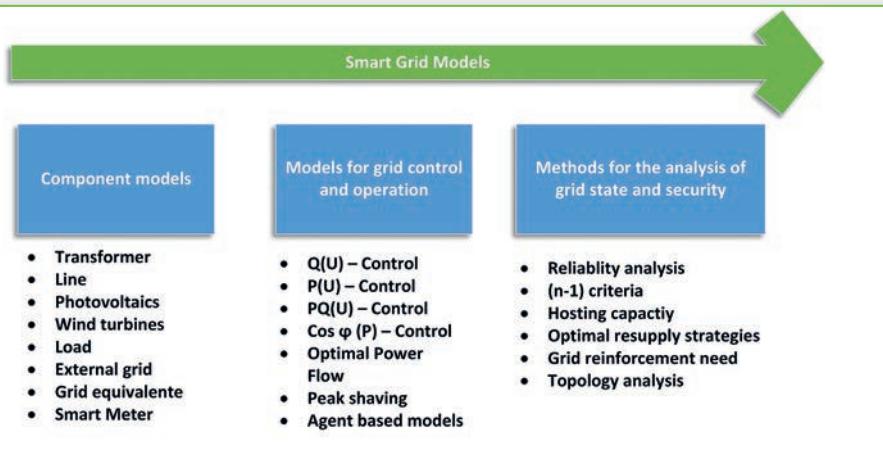
DR.-ING. LEON TURNER; GUSTAV LAMMERT, M.SC.

Titel

SmartGridModels – MODELLE UND NETZANALYSEN ZUKÜNSTIGER SMART GRIDS

title

SmartGridModels – MODELS AND GRID ANALYSIS OF FUTURE SMART GRIDS



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

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

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Ansprechpartner

DR.-ING. LEON THURNER

Titel

PANDAPOWER – OPEN SOURCE TOOL ZUR BERECHNUNG ELEKTRISCHER NETZE



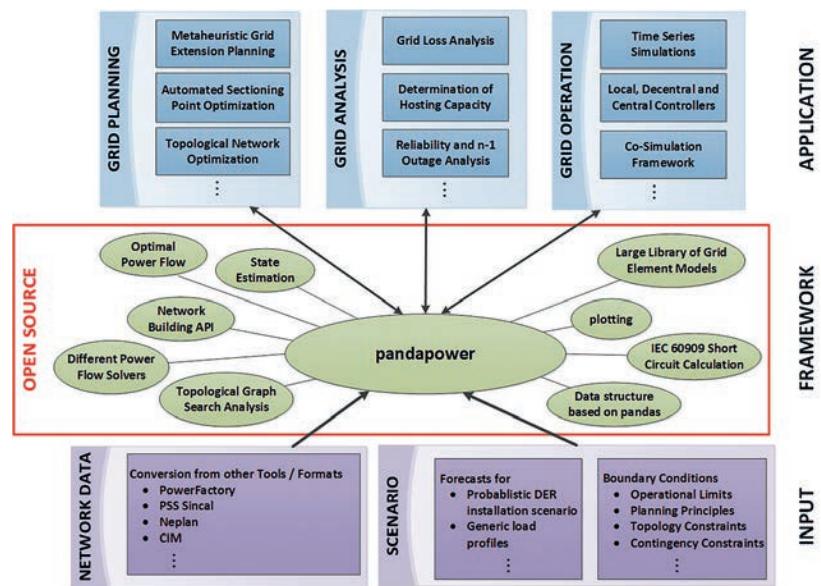
	MATPOWER 6.0	PYPOWER 5.1.2	PSAT 2.1.10	OpenDSS 7.6.5	PyPSA 0.10	GridLAB-D 3.2	pandapower 1.6.1
ZIP-load		✓	✓		✓	✓	✓
Line	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2-Winding Transformer (π)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2-Winding Transformer (T)				✓	✓	✓	✓
3-Winding Transformer				✓	✓	✓	✓
DC Line	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Ideal Switches							✓
Volt.-Controlled Generator	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Static Load / Generation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Shunt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Asymmetrical Impedance							✓
Ward Equivalents							✓
Storage Unit			✓	✓		✓	✓

pandapower ist ein Open Source Netzberechnungsprogramm, das am Fachgebiet e²n in Kooperation mit der Abteilung Netzplanung und Netzbetrieb am Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) in Kassel entwickelt wird. Es kombiniert die Datenverarbeitungs- und -analysebibliothek pandas mit dem Lastfluss-Solver von PYPOWER zu einem nutzerfreundlichen Netzberechnungsprogramm zur automatisierten Analyse und Berechnung elektrischer Netze (www.pandapower.org). Die flexible Datenstruktur erlaubt eine umfassende Modellierung und Analyse elektrischer Netze mit einem hohen Automatisierungsgrad. Im Gegensatz zu vielen anderen Open Source Netzberechnungstools basiert pandapower nicht auf einem Knoten/Kanten-Modell sondern auf elektrischen Elementen. So können Netze direkt aus elektrischen Elementen wie Leitungen, Schaltern, Generatoren, Zwei-/Dreiwicklungstransformatoren, Ward-Äquivalenten, DC-Leitungen etc. aufgebaut werden. Zur Netzanalyse beinhaltet pandapower Module für Lastfluss- und optimale Lastflussberechnung (OPF), Zustandsschätzung, Kurzschlussrechnung und Topologiesuchen. Außerdem enthält pandapower ein umfangreiches Plotting-Modul, welches das Erstellen von Strukturplänen sowie geographischen Netzplänen erlaubt. pandapower wird heute bereits weltweit sowohl an vielen Forschungsinstituten und Universitäten wie auch von Consultants und Netzbetreibern genutzt. Auch die Bundesnetzagentur setzt bei der automatisierten Netzausbau zur Prüfung des Netzentwicklungsplans auf pandapower.

Zusätzlich zu den als Open Source Software verfügbaren pandapower Kernmodulen werden am Fachgebiet e²n in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IEE vielfältige Tools in den Bereichen Netzbetrieb, -planung und -optimierung entwickelt (www.pandapower.pro). Diese Tools werden auf Basis der durch verschiedene Projekte und Netzbetreiber gegebenen Anforderungen stetig weiterentwickelt und fügen sich so in ein umfassendes Framework zur Netzanalyse und -optimierung ein.

title

PANDAPOWER – OPEN SOURCE ELECTRIC NETWORK CALCULATION TOOL



Die pandapower Pro Struktur

The pandapower Pro Framework

pandapower is an open source network calculation tool developed at e²n in cooperation with the Department for Distribution System Operation at the Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE) in Kassel. It combines the data analysis library pandas and the power flow solver of PYPOWER to create an easy to use network calculation program aimed at automation of power system analysis and optimization of electric power systems (www.pandapower.org). It provides a flexible data structure for comprehensive modelling of electric power systems that allows a high degree of automation in power system analysis. In contrast to many other open source network calculation tools, pandapower is based on electric elements rather than on a bus/branch model. Networks can thus consist of elements such as lines, switches, generators, two- and three winding transformers, ward equivalents, DC lines and more. For network analysis, pandapower provides modules for power flow, optimal power flow (OPF), state estimation, short-circuit calculation and topological searches. The extensive plotting module allows plotting of structural network plans as well as geographical network plans. pandapower is already used today by many research institutions and universities as well as consulting and power system operation companies around the world. The German Federal Grid Agency also applies pandapower in the process of checking the network development plan. Additionally to the open source pandapower core, a variety of different tools for network planning, optimization and operation are developed at e²n and Fraunhofer IEE (www.pandapower.pro). These tools are based on the specific requirements of different projects and network system operators to build a comprehensive network analysis and optimization library.

Ansprechpartner

JAN-HENDRIK MENKE, M.SC.; FLORIAN SCHÄFER, M.SC.

Titel

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

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IEE wurde im Forschungsvorhaben „OpSim“ eine Test- und Simulationsumgebung für Betriebsführungen und Aggregatoren im Smart Grid mit sehr hohem Anteil erneuerbarer Energien entwickelt, die im Nachfolgeprojekt „OpSimEval“ so erweitert wurde, dass auch beschleunigte Jahressimulationen durchgeführt werden können.

Wesentliches Ziel war dabei die Entwicklung geeigneter Verfahren für die Netzsimulation, welche eine hinreichende Beschleunigung der Simulation gegenüber Echtzeit (Faktor 1000 bis 10.000) erlauben, aber trotz der dafür ggf. notwendigen Vereinfachungen eine akzeptable Genauigkeit aufweisen. Verschiedene Maßnahmen zur Be-

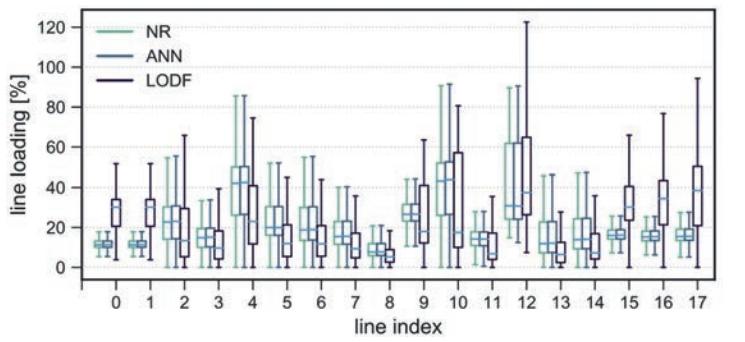


Abbildung 1: Verteilung Leitungsauslastung mit Lastflussergebnis (NR), Standardmethode (LODF) und neu entwickeltem Ansatz mit KNN (ANN). Schätzfehler ablesbar durch Balkenvergleich.

Figure 1: Estimation error between the exact load flow results (NR), the standard method (LODF), and the proposed scheme using ANN (ANN).

schleunigung von Lastflussrechnungen wurden in der Projektlaufzeit implementiert und erprobt: Es wurden effiziente Algorithmen zur Berechnung verschiedener Matrizen und die Verwendung von JIT-Compilern entwickelt, mit denen die Rechenzeit bereits dramatisch reduziert wird. Insbesondere bei Netzen mit einer großen Anzahl an Netzknoten wird der Geschwindigkeitsvorteil deutlich. Eine weitere Entwicklung ist die Annäherung von Lastflussergebnissen über künstliche neuronale Netze (KNN). Hierbei wird die eigentliche Lastflussrechnung nur für einen gewissen Prozentsatz der nötigen Berechnungen durchgeführt. Aufgrund dieser exakten Ergebnisse wird ein KNN trainiert, das dann mit einer hohen Genauigkeit die Ergebnisse für die restlichen Zeitpunkte im Jahr und n-1 Fälle voraussagt. Abbildung 1 zeigt dabei einen Vergleich zwischen dem exakten Ergebnis (NR), einem Standardverfahren zur Schätzung von Lastflussergebnissen (LODF) im n-1-Fall sowie dem neu entwickelten, KNN-basierten Verfahren (ANN). Abbildung 2 zeigt die Rechenzeit für alle nötigen Zeitschritte einer Jahressimulation. Der KNN-basierte Ansatz, in der Grafik mit ANN gelabelt, erzeugt genaue Ergebnisse aber spart auch einen großen Teil der nötigen Rechenzeit ein.

title

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

In the project OpSim an environment for testing and simulating power system operation strategies as well as aggregators in a smart grid with a high penetration of renewable energy resources has been developed, which was extended in the follow-up project “OpSimEval” so that accelerated annual simulations can also be carried out.

The main goal was the development of suitable methods for grid simulations, which allow a sufficient acceleration of the simulation compared to real time (e.g., factor 1000 to 10.000), but which also have an acceptable accuracy despite the necessary simplifications. Various measures for accelerating load flow calculations were

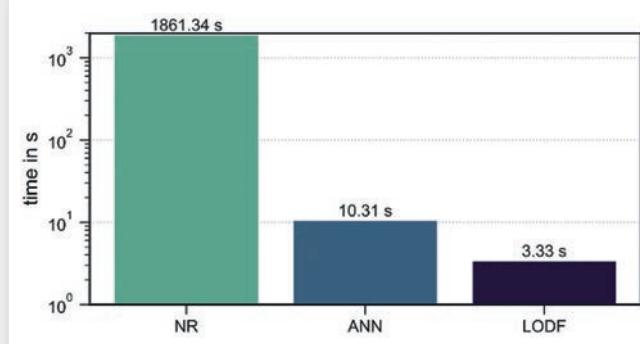
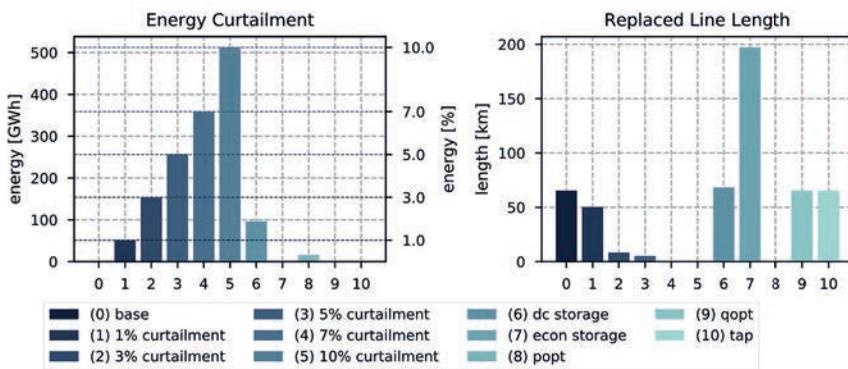


Abbildung 2: Vergleich der Rechenzeit für eine komplette Jahressimulation mit exakter Berechnung (NR) und Zeit für die Schätzung der n-1 Fälle mit der Standardmethode (LODF) sowie dem neu entwickelten Ansatz (ANN).

Figure 2: Comparison of calculation times for an annual simulation. Compared are the exact calculation (NR), the standard method (LODF), and the proposed scheme (ANN).

implemented and tested during the project period: Efficient algorithms for calculating different matrices and the use of JIT compilers were developed, with which the computing time is already dramatically reduced. Especially for grids with a large number of nodes the speed advantage becomes tremendous. Another development is the approximation of load flow results via artificial neural networks (ANN). The actual load flow calculation is only carried out for a certain percentage of the necessary calculations. Based on these exact results, an ANN is trained, which then predicts the results for the remaining time steps in the year and its n-1 cases with high accuracy. Figure 1 shows a comparison between the exact result (NR), a standard method for estimating load flow results in n-1 cases (LODF) and the newly developed ANN-based method (ANN). Figure 2 shows the calculation time for all necessary time steps of an annual simulation. The ANN-based approach produces accurate results but also saves a large part of the required computing time.



Ein weiteres Projektziel war die Entwicklung der Integration der Test- und Simulationsumgebung „OpSim“ mit einem Netzplanungstool. Dabei werden Netzplanungsalgorithmen untersucht und Konzepte für die Berücksichtigung von Netzbetriebsführungen als Maßnahmen einer Netzausbauplanung erarbeitet. Zudem erfolgte eine Integration von Netzausbauplanungswerkzeugen und der Test- und Simulationsumgebung „OpSim“. Es wurden mehrere Betriebsführungsstrategien als unabhängige OpSim-Module integriert: Regelung der Transformator-Stufensteller zur Spannungshaltung im Netz (tap); Regelung der Anlagenblindleistung (qopt); Regelung der Anlagenwirkleistung (popt); Regelung von dezentralen Speichern (marktoptimal; econ storage); Regelung von dezentralen Speichern (netzdienlich; dc storage); Abregelung nach dem x %-Kriterium (1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 10 % curtailment), bei dem jeweils x % der Jahresenergie von Anlagen zu Zeitpunkten maximaler Leistung abgeregelt wird. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für ein ganzes Jahr gerechnet. Es wurde das Benchmark-Netz Simbench HV verwendet, welches für die Untersuchung von durch die Energiewende auftretenden Herausforderungen entwickelt wurde. Insgesamt zeigt sich, dass die unterschiedlichen Betriebsführungen sehr stark schwankende Ergebnisse liefern, sowohl bezogen auf die abgeregelte Energie (die vom Netzbetreiber zu vergüten ist) als auch bezogen auf den notwendigen Netzausbau. Die optimierte Regelung der Anlagenwirkleistung (popt) hat sich hier als vielversprechende Lösung herausgestellt, um die Netzausbaukosten in diesem Beispiel zu reduzieren.

www.opsim.net

Abbildung 3: Vergleich verschiedener Betriebsführungsstrategien am Beispiel des Benchmark-Netzes Simbench HV. Im linken Teil ist die abgeregelte Energie der dezentralen Einspeiser über ein Jahr dargestellt, abhängig von der gewählten Betriebsführung (weniger ist besser). Im rechten Teil ist der zur Betriebsführung passende Ausbaubedarf des Netzes als zu ersetzenende Leitungslänge im Netz dargestellt (weniger ist besser).

Figure 3: Comparison of different operational strategies using the benchmark grid Simbench HV. In the left subplot, the curtailed energy of the distributed generators is shown, depending on the specific operational strategy (lower is better). In the right subplot, the required replacement of lines in the grid, measured by the total line length to be replaced, is shown (lower is better).

Another project goal was the development of the integration of the test and simulation environment "OpSim" with a network planning tool. Network planning algorithms are researched and concepts for the consideration of grid operation management as measures of network expansion planning are developed. In addition, network expansion planning tools and the test and simulation environment "OpSim" were integrated. Several operation management strategies were integrated as independent OpSim components: Control of transformer tap controllers for voltage regulation in the grid (tap); control of distributed generator's reactive power (qopt); control of distributed generator's active power (popt); control of decentralized storage facilities (market-optimal; econ storage); control of decentralized storage facilities (network-supporting; dc storage); control according to the x % criterion (1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 10 % curtailment), in which x % of the annual energy of plants is controlled at times of maximum power. Figure 3 shows the results calculated for a whole year. The Simbench HV benchmark network is used, which was developed to investigate the challenges posed by the energy system transformation. All in all, it can be seen that different operational management systems yield strongly differing results, both in relation to the curtailed energy (which has to be remunerated by the grid operator) and in relation to the necessary grid expansion. The dynamic control of the active plant power (popt) has proven to be a promising solution to reduce grid expansion costs.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

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



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

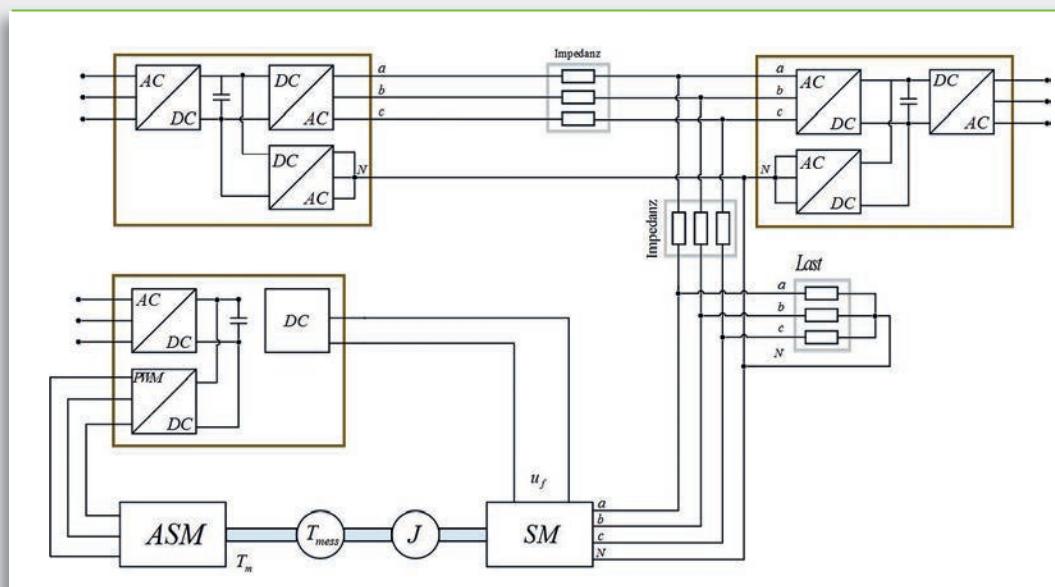
Im Jahr 2016 wurde am Fachgebiet e²n eine Laboreinrichtung bestehend aus zwei Umrichterschränken, einem Schaltschrank und einem Maschinensatz beschafft, aufgebaut und in Betrieb genommen. Der Standort des Labors ist das Design-Zentrum Modulare Versorgungs-technik (DeMoTec), welches gemeinsam von Fraunhofer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

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

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

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

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



Verschaltungsplan des Laboraufbaus
Circuit layout of the laboratory setup

Ansprechpartner
GUSTAV LAMMERT, M.SC.

Titel

EINFLUSS VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN AUF DIE KURZZEIT-SPANNUNGSSTABILITÄT

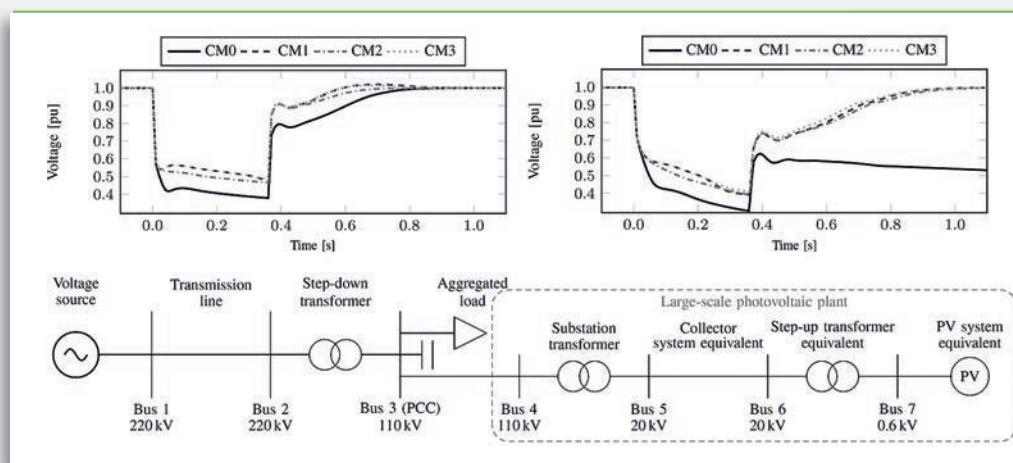
IMPACT OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON SHORT-TERM VOLTAGE STABILITY

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

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

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

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



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

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

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

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

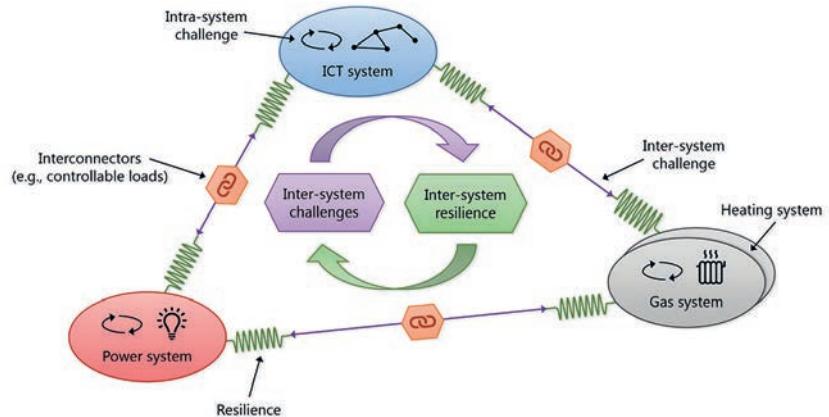
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0325776J (NETZ:KRAFT)

MULTI-RESILIENCE – RESILIENCE IN ICT-BASED MULTIMODAL ENERGY DISTRIBUTION SYSTEMS

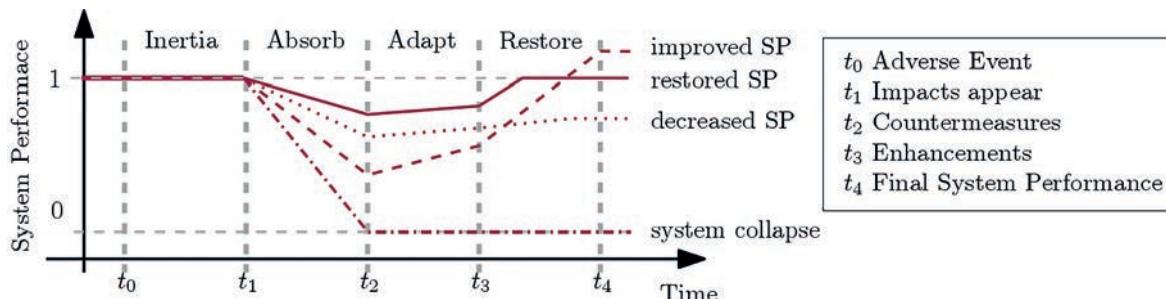
Der Begriff Energiewende beschreibt den Prozess, bei dem die angestrebte Dekarbonisierung der Energieversorgung mit Hilfe von Dezentralisierung und Digitalisierung umgesetzt wird.

Dabei werden Infrastrukturen wie die Strom-, Gas- und Wärmeversorgung zunehmend von Informations- und Kommunikationstechnik (ICT) durchdrungen und zu multimodalen Energieverteilungssystemen (SMEDs) miteinander verknüpft. Während darin große Chancen für eine sichere, ressourcenschonende und nachhaltige Versorgung liegen, entstehen auch wechselseitige Abhängigkeiten, deren Auswirkungen auf die Resilienz der betrachteten Infrastrukturen noch nicht ausreichend untersucht ist.

MULTI-RESILIENCE – RESILIENCE IN ICT-BASED MULTIMODAL ENERGY DISTRIBUTION SYSTEMS



Schematische Darstellung intelligenter multimodaler Energieverteilungssysteme (SMEDs)
Schematic representation of smart multimodal energy distribution systems (SMEDS)



Mögliche Zeitliche Verläufe der Systemperformance während unerwünschten Ereignissen
Possible System Performance during adverse events

Das im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 1984 stattfindende Projekt Multi-Resilience versucht diese Lücke zu schließen. In enger Kooperation mit der Universität Passau wird die Fähigkeit von SMEDs, mit unerwünschten Ereignissen (z.B. Störungen, drastischen Umweltveränderungen, Angriffen) umzugehen untersucht. Es wird ermittelt, ob und wie es zu Kaskadeneffekten kommt. Die Modellierung der Interkonnektoren (z.B. Smart Meter, Gaskraftwerke, etc.) ermöglicht die Quantifizierung der Resilienz an Hand der Systemperformance vor, während und nach dem Eintreten eines Ereignisses. Ziel ist es die Erkenntnisse zu nutzen, um Maßnahmen zur Verbesserung der Resilienz entwickeln zu können.

Energiewende is a term, that describes the process that combines decarbonisation, decentralisation and digitisation of energy supply. Infrastructures like power, gas and heating systems increasingly depend on Information and Communication Technology (ICT), which leads to smart multimodal energy distribution systems (SMEDS). While this is one of the major enablers to realize the energy system transformation towards a highly efficient and renewable energy-based system, the effects on the resilience of those infrastructures is not yet sufficiently investigated.

The Project Multi-Resilience, as a part of DFG SPP 1984, wants to close that gap. In close collaboration with the University of Passau, the ability of SMEDs to handle adverse events is investigated. The Project analyses cascading effects and uses modelling of the interconnections themselves to quantify the Resilience based on the system performance before, during and after an adverse event. The insight gained will allow the development of measures for improvement of the resilience.

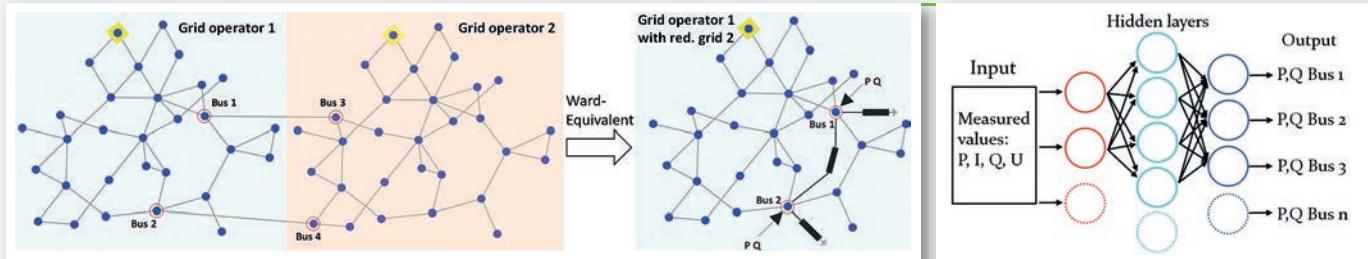
Ansprechpartner

MARCEL DIPP, M.SC.; ZHENG LIU, M.SC.; DR.RER.NAT SEBASTIAN WENDE VON BERG

Titel

RPC2

title

RPC2

Erweitertes Ward-Äquivalent: Reduktion des Nachbarnetzes

Extended Ward Equivalent: reduction of the neighbouring grid

Zustandsschätzung: KNN-Ansatz für die
Mittelspannungsebene. | State Estimation: ANN
approach for the medium voltage level

RPC2 – Betriebsführungsmodule für ein optimiertes spannungsebenen- und netzbetreiberübergreifendes Blindleistungsmanagement

Durch die Kombination aus einem erheblichen Umbau von Kabeln und Freileitungen und den häufigen Zeiten geringer absoluter Netzlaut zeichnet sich ein verstärktes kapazitives Netzverhalten ab. Um den möglichen Spannungsproblemen in der HS- und HöS-Ebene zu begegnen, muss die Wechselwirkung zwischen den vorgelagerten Stromnetzen bis hin zum Übertragungsnetz besser verstanden und gemanagt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts RPC2 untersucht das Fachgebiet e²n in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IEE mögliche Betriebsführungsstrategien für ein optimiertes spannungsebenen- und netzbetreiberübergreifendes Blindleistungsmanagement in der Mittel- und Hochspannungsebene. Das Hauptaugenmerk des Fachgebiets e²n liegt dabei auf den folgenden drei Modulen, deren Zusammenspiel die Betriebsführung erst ermöglicht. Durch ein übergeordnetes Blindleistungsmanagementmodul wird die Blindleistungsbilanz zielgerichtet und situationsabhängig durch dezentrale blindleistungsfähige Erzeugungsanlagen und die Trafostufung optimiert. Zur Informationsbereitstellung der notwendigen Zustandsparameter wird die Entwicklung eines weiteren Moduls zur State Estimation vorangetrieben. Während die Zustandsschätzung in der Hochspannungsebene die Bereinigung von Messfehlern zur Aufgabe hat, soll in der Mittelspannungsebene aus einer geringen Anzahl an Messwerten ein Netzzustandsbild generiert werden. Zu diesem Zweck wurde eine Zustandsschätzung auf Basis von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) implementiert (s. Abb. a). Das dritte Modul wird durch die Netzequivalente abgebildet, die die Wechselwirkungen zwischen dem mittels des Blindleistungsmanagementmodul gesteuerten Stromnetz und dem reduzierten Netz möglichst realistisch nachbilden (s. Abb. b). Der Forschungsschwerpunkt liegt hierbei auf einem geringen Datenaustausch zwischen den Netzbetreibern. Das Zusammenspiel dieser drei Module mit unterschiedlicher Kombinationen von dezentralen und zentralen Betriebsführungsansätzen wird in einem abschließenden Feldtest erprobt.

RPC2 – Operation management modules for optimized reactive power management across voltage levels and grid operators

The combination of a significant conversion of cables and overhead lines and the frequent times of low absolute network load leads to an increased capacitive grid behaviour. In order to address the possible voltage problems at the high and extra high voltage level, the interaction between the upstream electricity grids up to the transmission grid must be better understood and managed.

Within the RPC2 research project, the e²n department in cooperation with the Fraunhofer IEE is investigating potential operation control strategies for optimized reactive power management across voltage levels and grid operators at the medium and high voltage levels. The main focus of e²n is on the following three modules, whose interaction makes operational management possible in the first place. A superordinate reactive power management module optimizes the reactive power balance and, depending on the situation, optimizes it by means of reactive power generation and switching of the tap changer. Furthermore, the development of a state estimation module is being advanced in order to provide the required state parameters for the reactive power management module. While the state estimation in the high-voltage level has the task of correcting measurement errors, in the medium-voltage level a grid state is to be generated from a small number of measured values. For this purpose, a state estimation based on artificial neural networks (ANN) was implemented (fig a.). Another fundamental module represents the grid equivalents, which realistically simulate the interactions between the grid controlled by the reactive power management module and the reduced power grid (fig b.). The research focus in this area is on a low level of data exchange between the grid operators. The interaction of these three modules with different combinations of decentralized and centralized operational control strategies will be tested in a final field test.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen
020E-41V7519

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INTEGRATION EINER INDUSTRIE-LEIT- WARTENSOFTWARE ALS TESTLEITSTELLE FÜR FORSCHUNGSZWECKE

title

INTEGRATION OF INDUSTRIAL CONTROL ROOM SOFTWARE AS TEST CONTROL CEN- TRE FOR RESEARCH PURPOSES

Simulationsaufbau eines Benchmarking zwischen neu entwickelter Forschungsmethode für die Netzüberwachung im Vergleich mit der Industrie-Leitwartensoftware. *Simulation set-up for a benchmarking test of a newly developed method for the monitoring of power grids in comparison with the industry solution.*

Im Rahmen des Projekts „OpSim“ wurde die Leitwartensoftware der Firma PSI AG für Forschungszwecke bereitgestellt. Diese wurde über einen gängigen IEC-Standard an die Test- und Simulationsumgebung OpSim angeschlossen. Die OpSim-Anbindung ermöglicht es anderen Software-Modulen, die ihrerseits eine OpSim-Anbindung besitzen, Daten an die Testleitstelle zu senden. Die anderen Software-Module können dabei in einer der zahlreichen unterstützten Programmiersprachen entwickelt worden sein oder sich über die Standard-Schnittstellen (Websocket, REST, IEC 61850, IEC 60870-5-104, CIM, VHPready) mit OpSim verbinden. Durch seine Echtzeit-Fähigkeit können realitätsnahe Simulationen durchgeführt werden. Die mit OpSim erzeugten, simulierten Messungen, die an der Testleitstelle eintreffen, sind nicht von denen echter Messgeräte zu unterscheiden. Durch die einfache Simulation verschiedener Szenarien können auch gezielt Funktionalitäten der Testleitstelle geprüft und Schwachstellen ermittelt werden. Insbesondere können damit auch in Realität nur selten auftretende, extreme Ereignisse getestet werden.

Beispielhaft sei der Test einer am Fachgebiet eⁿ neu entwickelten Methode der Netzüberwachung dargestellt. Der Aufbau findet sich in Abbildung 1. Eine Netzsimulation (orange) simuliert einen kompletten Tag für ein Stromnetz, welches Lasten und mehrere dezentrale Einspeiser enthält. Die erzeugten Messungen werden über OpSim an zwei andere Komponenten verteilt: die neue Methode (grün) sowie die Testleitstelle (blau). Da beide Methoden dieselben Messungen erhalten, können die daraus ermittelten Netzzustände beider Methoden abgespeichert und verglichen werden. So lässt sich feststellen, ob die Genauigkeit der neuen Methode ähnlich ist wie die der Leitstellen-Software. Die Netzsimulation kann dabei flexibel verschiedene Zustände im Netz erzeugen, z.B. dynamische Topologien durch Schalthandlungen oder Überlastungen durch eine hohe dezentrale Einspeisung.

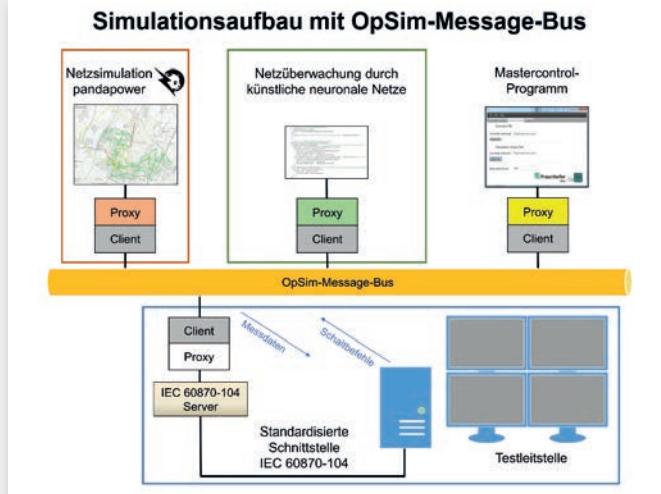
www.opsim.net

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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



As part of the "OpSim" project, a control center software was provided from PSI AG for research purposes. It was connected to the test and simulation environment OpSim via a common IEC standard. The OpSim connection makes it possible for other components, which in turn have a functional OpSim connection, to send data to the test control center. The other components may have been developed in one of the numerous supported programming languages or connect to OpSim via one of the standard interfaces (WebSocket, REST, IEC 61850, IEC 60870-5-104, CIM, VHPready). Due to its real-time capability, realistic simulations can be performed. The measurements, generated by the OpSim simulation, which arrive at the test control center, cannot be distinguished from those of real measuring instruments. The easy simulation of different scenarios also allows specific functionalities of the test control centre to be tested and weak points to be identified. In particular, it can be used to test extreme events that occur only rarely in reality.

An example is the test of a newly developed method of grid monitoring at the department eⁿ. The overall simulation setup is shown in Figure 1. A grid simulation (orange) simulates a complete day for a power grid, which contains loads and several distributed generators. The generated measurements are distributed via OpSim to two other components: the new method (green) and the test control center (blue). Since both methods receive the same measurements, the estimated grid states of both methods can be stored and compared. In this way, advantages and disadvantages of different approaches can be analysed. The grid simulation can flexibly generate different states in the grid, e.g. reconfiguration of topologies due to switching actions or overloads due to a high decentralized supply.

Ansprechpartner

DR. SEBASTIAN WENDE – VON BERG (e²n, IEE); ZHENQI WANG, M.SC

Titel

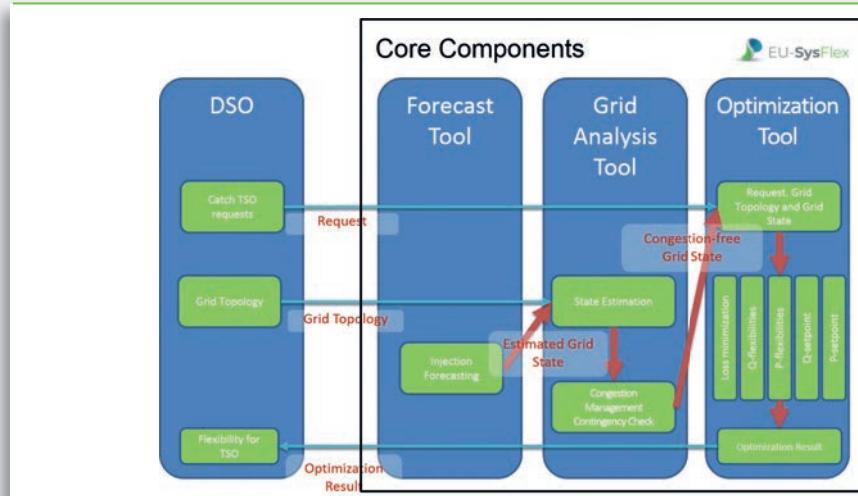
EU SysFlex: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN AUS FLÄCHENVERTEILNETZEN

title

EU SysFlex: P, Q FLEXIBILITY FROM DISTRIBUTION GRIDS TO TRANSMISSION GRID**Aktuelle Schwerpunkte von e²n: Implementierung der prognosebasierten Zustandsschätzung, Netz sicherheitsmanagement und echtzeitige Netzsimulation**

Ziel des Projektes EU SysFlex ist die Forschung und Entwicklung eines Demonstrators (Systemstruktur siehe Figure 1) zur kombinierten Prognose, Netzzustandsanalyse und Optimierung für die Nutzung der Wirk- und Blindleistungsflexibilität der Einspeisungsanlage im Verteilnetz in den überlagerten Übertragungsnetz zum Engpassmanagement unter dem aktuell und zukünftig gesetzlichen Regelung für die Netzbetriebsführung. Ab Oktober 2018 liegt der Arbeitsschwerpunkt der FG e²n an dem Netzzustandsanalyse Tool, bzw. prognosebasierende Netzzustandsschätzung, Netz sicherheitsmanagement und Netz simulation, da eine Grundvoraussetzung für die Optimierung ist die präzise-genug Schätzung des Netzzustands mit der prognostizierten Einspeisung von dezentralen Einspeisungsanlagen als auch die lokale Netz sicherheit nach den N-1 Kriterien, die durch die Senkung der Einspeisung zur Verursachung des Netztengpasses realisiert werden können. Neben der Umsetzung des Moduls hat der FG e²n sich vor in der Grundforschung in der Netzzustandsschätzung und dem marktorientierten Netztengpassmanagement im Rahmen des Projekts zu engagieren, um neues Verfahren bzw. mit maschinellen Lernen für die effizientere Netzbetriebsführung zu entwickeln und evaluieren. Die alle o.g. Modulen für die Netzbetriebsführung werden dann über echtzeitige Netzsimulation in Zusammenarbeit zum Fraunhofer IEE getestet und validiert werden, bevor der Demonstrator zum Feldtest beim Verteilnetzbetreiber Mitnetz Strom gebracht werden kann.

Weitere Informationen zu EU SysFlex unter <http://eu-sysflex.com/>.



Übersicht der Systemstruktur des Demonstrators in EU SysFlex
System Overview of Demonstrator in EU SysFlex

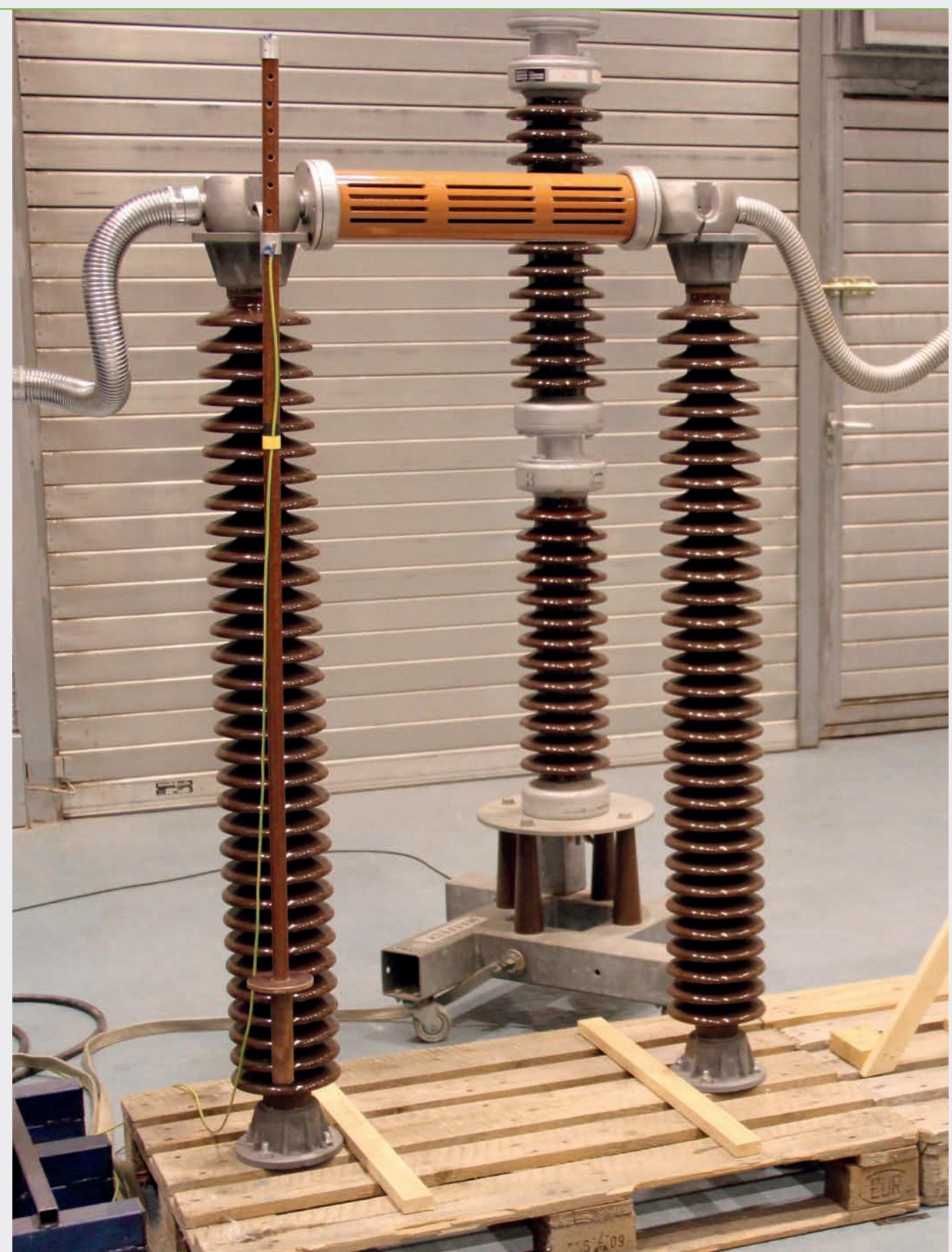
Current focus of e²n: Implementation of Grid Congestion Management module and State Estimation Tool, and Setup for Grid Simulation

The main goal of project EU SysFlex is to research and develop a demonstrator (system overview in Figure 1) as a complex for forecasting, grid state analysis and optimization to enable the usage of the active and reactive power flexibility from decentralized generators such as wind and PV parks in the distribution grid for congestion management for transmission grid under current and future energy law framework. Since October 2018 the working focus of chair e²n is to develop grid analysis tool for the forecasting-based grid state estimation, congestion management and real-time grid simulation. Because the basic perquisite for the optimization is a reasonable accurate grid state estimation based on the predicted injection from decentralized generators and the local grid safety with N-1 safety check, which will be realized by infeed reduction of the injection which caused the congestion. In addition to the development, chair e²n is planning for the engagement for the research for new possibility in forecasting-based grid state estimation and market-oriented congestion management with machine learning methods for a more efficient grid operation within the scope of project EU SysFlex. The demonstrator and all the functionalities will be tested and validated in the real-time grid simulation with cooperation to Fraunhofer IEE, before field test in the control center of German distributed grid operator Mitnetz Strom.

For further information on EU SysFlex, please visit <http://eu-sysflex.com/>.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773505.





Anlagen und
Hochspannungstechnik

Ansprachpartner

PROF. DR.-ING. ALBERT CLAUDI

Titel

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

title

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



Anlagen und
Hochspannungstechnik

Im Fachgebiet Anlagen- und Hochspannungstechnik (AHT) werden unter der Leitung von Prof. Claudi Fragestellungen des weiten Gebiets der Hochspannungsnetzübertragung bearbeitet. Neben der Berechnung und Auslegung von Übertragungssystemen werden Isolationsmaterialien hinsichtlich ihrer Festigkeit untersucht. Gels haben gegenüber konventionellen Isolierstoffen einige vielversprechende Eigenschaften, die sie für den Einsatz in der Mittel- und Hochspannungstechnik interessant machen. Das Fachgebiet arbeitet seit dem Jahr 2001 schwerpunktmäßig auf diesem Gebiet. Die Forschungsarbeiten wurden dabei begleitet von Applikationsprojekten, die in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industrieunternehmen bearbeitet wurden.

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

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

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



Prof. Dr.-Ing. Albert Claudi
Fachgebetsleiter AHT

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

Forschungsthemen

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

Main emphasis

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

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

▪ Anlagen und Hochspannungstechnik I	Prof. Claudi, S. Wels
▪ Anlagen und Hochspannungstechnik II	Prof. Claudi
▪ Seminar Elektr. Entladungen und Durchschläge	Prof. Claudi
▪ Seminar Berechnung elektrischer Hochspannungsfelder	Prof. Claudi
▪ Regelungstechnik für den Studiengang Regenerative Energien und Energieeffizienz	Prof. Claudi, T. Rauf
▪ Hochspannungsmesstechnik	Prof. Claudi
▪ Energietechnisches Praktikum I	Stefan Jörres
▪ Energietechnisches Praktikum II	Stefan Jörres
▪ Hochspannungspraktikum	Stefan Jörres
▪ Lichttechnik	Frau Dr. Vandahl, F. Gielsdorf, O. Winter, Wolf
▪ Blitz- und Überspannungsschutz für elektrische und elektronische Systeme	Dr. Gernot Finis

Ansprechpartner
STEFAN JÖRRES, M.SC.

Titel

ENTWICKLUNG EINES MESSSYSTEMS ZUR DETEKTION VON STOSSSTRÖMEN UND ELEKTROMAGNETISCHEN INTERFERENZEN AN ÜBERSPANNUNGSABLEITERN

Die Überwachung von Komponenten in elektrischen Versorgungssystemen nimmt durch die Digitalisierung im Bereich der Industrie 4.0 stetig zu. Interessen und Vorteile liegen vor allem in der immer höher werdenden Zuverlässigkeit von Gesamtsystemen bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand. Die Einbindung von Zustandsüberwachungssystemen an Typ I/II Überspannungsableitern ist in den letzten Jahren zu einem regelrechten ungelösten Trendthema unter dem Begriff „Intelligenter Überspannungsschutz“ mit immer höherer Nachfrage geworden.

Ziel des Projektes ist es, ein dafür geeignetes Messprinzip zu untersuchen und zu entwickeln, welches sowohl die abgeleiteten Ströme messen kann als auch elektromagnetische Interferenzen detektieren kann. Mit Hilfe dieser Daten können zuverlässige Aussagen über den Zustand des Überspannungsschutzes getroffen werden und somit zustandsorientierte Wartungen vorgenommen werden.

Untersuchungen zeigen, dass eine effiziente und wirtschaftliche Methode die Aufnahme des Stromes über das umgebende Magnetfeld mittels Luftspulen darstellt. Hierzu wurden unter Anwendung von Simulationen und Prototypentests Sensoren entwickelt, die in Abhängigkeit des Kabelaußendurchmessers den abgeleiteten Stoßstrom in einem weiten Frequenzbereich aufnehmen können. Die nachgelagerte Schaltung zur Messumformung bietet dabei zusätzlich die Möglichkeit, hochfrequente elektromagnetische Störungen (ESD, EFT, etc.) über die parasitäre Koppelkapazität des Sensors zum Anschlusskabel qualitativ zu detektieren. Die Daten werden in einer Cloud gesammelt, verarbeitet und visualisiert. Anhand dieser können zukünftige Alterungsmodelle und Prognosen immer präziser vorgenommen werden.

title

DEVELOPMENT OF A MEASURING SYSTEM FOR THE DETECTION OF SURGE CURRENTS AND ELECTROMAGNETIC INTERFERENCES ON SURGE PROTECTIVE DEVICES

The monitoring of components in electrical distribution systems is steadily increasing due to digitization in Industry 4.0. The interests and advantages are in the increasing reliability of complete systems with simultaneous low maintenance.

The integration of condition monitoring systems for Type I / II surge arresters has become an unsolved trend topic in recent years under the term "Smart Surge Protective Devices" with increasing demands.

The aim of the project is to investigate and develop a suitable measuring principle, which can measure the discharged currents and detect

electromagnetic interferences. With this data, reliable predictions can be made about the state of health of the overvoltage protection. Thus, condition-oriented maintenance can be applied.

Investigations show that an efficient and economical method is to record the current through the surrounding magnetic field by means of air coils. For this purpose, simulations and prototype tests were used to develop sensors that record the discharged surge current over a wide frequency range as a function of the cable outer diameter. The measuring transducer circuit design also offers the opportunity of qualitatively detecting high-frequency electromagnetic interference (ESD, EFT, etc.) via the parasitic coupling capacitance of the sensor to the connection cable. The data are collected, processed and visualized in a cloud. Based on this, future aging models and forecasts can be made more and more precise.



Anwendungsbeispiel des cloudbasierten Überwachungssystems für Überspannungsableiter
Application example of cloud-based condition monitoring system for surge protective devices

Ansprechpartner

TOBIAS RAULF M.Sc.

Titel

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

title

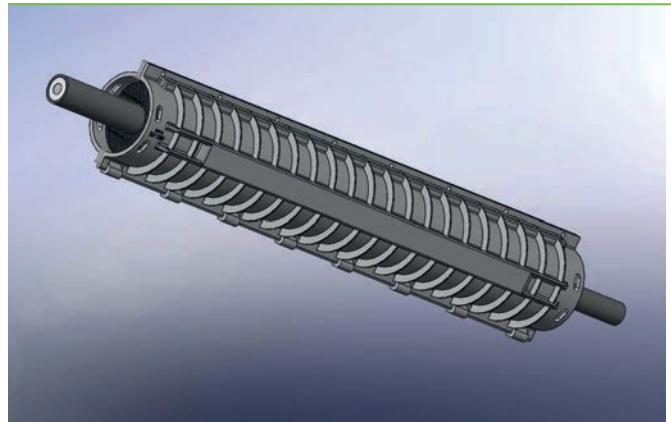
DOUBLELAYER – DEVELOPMENT OF TWO LAYERED CABLE JOINTS, BRANCHES AND JUNCTION BOXES WITH INSULATING AND CONDUCTIVE LAYERS

CAD-Zeichnung der fertigen Muffe
CAD-drawing of the final joint design

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

Ziel des Projektes war es, eine Kabelmuffe zu entwickeln, welche aufgrund des Designs und der verwendeten Isolierstoffe langlebiger sowie einfacher zu montieren ist. Auf diese Weise werden Fehlerquellen bei der Montage minimiert und Ausfälle im Betrieb reduziert. Die technische Umsetzung erfolgt über eine zwei Komponentenisolierung. Eine innere halbleitende Schicht dient zur Feldsteuerung und die äußere Schicht dient als eigentliche Isolation. Das Teilprojekt des FG AHT umfasst die Untersuchung der elektrischen Parameter von den Isolergelenk und der kompletten Kabelmuffe unter verschiedenen Umwelteinflüssen. Das Projekt wurde nach 30 Monaten im März 2018 wie geplant beendet.

Die Ergebnisse der elektrischen Untersuchungen haben aufgezeigt, welche Materialien aus Sicht der Isolationsparameter am besten geeignet sind für eine Verwendung in elektrischen Anlagen und Komponenten. Die geeigneten Formulierungen sollen als Isolationsystem in Schaltern, Verbindungen und Verzweigungen von den Industriepartnern des Vorhabens am Markt erprobt werden. Abhängig vom Feedback des Marktes sollen mögliche weitere Einsatzzwecke und Anwendungsgebiete untersucht werden.



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

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

The aim of the project was to develop a cable joint which, due to its design and the insulating materials, is more durable and easier to mount. In this way, error sources are minimized and breakdowns during operation are reduced. Technically, the whole issue is solved by using two insulating layers. An inner conductive layer serves for field control and the outer layer serves as the actual insulation. The subproject of the FG AHT comprises the investigation of the electrical parameters of the insulating gels and the complete cable joints under different environmental influences. The project was finished after the duration of 30 months in March 2018.

The results of the electrical investigations have shown which materials are best suited for use in electrical systems and components from the point of view of the insulation parameters. The industrial partners of the project on the market will test the suitable formulations as insulation systems in switches, connections and branches. Depending on the feedback of the market, possible further applications and areas of application will be investigated.

Ansprechpartner

DIPL.-ING. SEBASTIAN WELS

Titel

ELEKTRISCHE ISOLATOREN AUF BASIS VON TECHNISCHEN KUNSTSTOFFEN

title

ENGINEERING PLASTICS AS ELECTRICAL INSULATORS

Der Trend hin zur Miniaturisierung elektronischer Module bei gleichzeitig steigenden Betriebsspannungen führt zu erhöhten Belastungen der eingesetzten Isolierstoffsysteme. Zusätzlich werden die Baugruppen teils rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt, was die Anforderungen an den eingesetzten Isolierstoff weiter erhöht. Aus diesen Gründen ist im Bereich der thermoplastischen Kunststoffe ein grundlegendes Verständnis zur elektrischen Festigkeit bzw. dem elektrischen Alterungsverhalten unter verschiedenen Umgebungsbedingungen notwendig.

The trend towards miniaturization of electronic modules and increasing operating voltages result in high stress to the used insulating systems. In addition, the assemblies are sometimes exposed to harsh environmental conditions, which further increases the requirements placed on the insulating material. For these reasons, in the field of thermoplastics, a basic understanding of the electrical strength and the electrical aging behavior under various environmental conditions is necessary.



Prüfkörperdesign

Specimen design

Im Rahmen dieses Projekts wurde zunächst ein neues Prüfkörperdesign entwickelt, das es erlaubt den zu untersuchenden technischen Kunststoff unter verschiedenen Umgebungsbedingungen auf seine elektrische Festigkeit bzw. das elektrische Alterungsverhalten zu untersuchen (Abb. 1). Die Ergebnisse zu den thermoplastischen Kunststoffen zeigen deutliche Unterschiede, obwohl einige laut Datenblatt als nominell gleich anzusehen sind. Speziell bei Gleichspannung und hoher Feuchtigkeit wirken starke Alterungsmechanismen.

As part of this project, a new test specimen design was developed. It allows to determine the electrical strength and aging behavior of technical plastics under the influence of environmental conditions (Fig. 1). The results show clear differences, although some materials are nominal equal according to the data sheet. Especially with DC voltage and high humidity strong aging mechanisms occur.

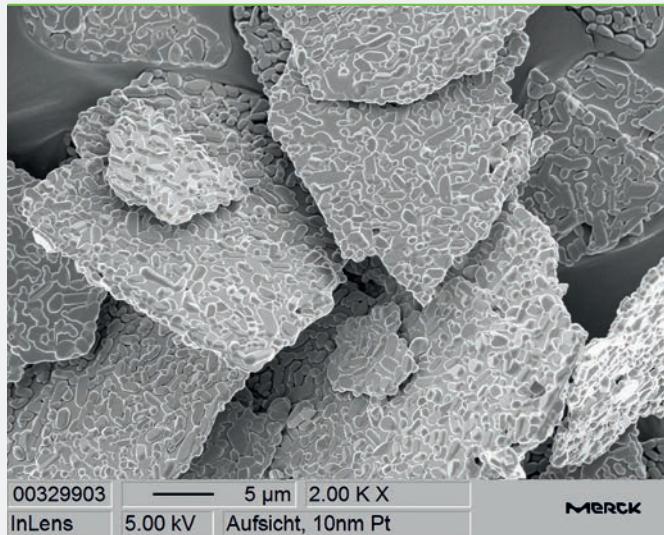


Sponsored by ECPE European Center for Power Electronics e.V.

Ansprechpartner

DIPL.-ING. SEBASTIAN WELS

Titel

SMART GEL APPLICATION

REM-Aufnahme von Pigmenten mit Metalloxidbeschichtung

SEM-image of pigments with metal oxide coating

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

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

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

In the case of conventional insulation materials, a local increased field strength can occur due to air inclusions, foreign particles, surface roughness, etc... As result partial discharges (PD) occur, which degrades the insulating material. This leads to a failure of the complete insulation system in medium or long term. In order to solve this problem, field-controlling gels are investigated. Above a certain electrical field strength these gels can change their locally intrinsic electrical conductivity. In the normal state, the material is highly insulating. If a local field strength increase takes place, the insulating material in this region becomes semiconducting. Due to the occurring displacement currents, the high-stressed field region is homogenized and partial discharges are prevented. In the current cooperation project between the University of Kassel, the Wacker Chemie AG and the Merck KGaA further development of field-grading additives is further progressed, so that the macroscopic behavior of the nonlinear insulating material can be precisely adjusted.

Ansprachpartner

TOBIAS RAULF M.SC.; PROF. DR.-ING. ALBERT CLAUDI

Titel

FIESELER STORCH FLUGSIMULATOR – EIN STUDENTISCHES PROJEKT –

title

FIESELER STORK FLIGHT SIMULATOR – A STUDENT PROJECT –



Der simulierte Fieseler Storch vor dem Hangar am Kassel Airport.

The simulated Fieseler Stork in front of the hangar at the Kassel Airport.



Der Storch Simulator 1.0 mit der 180° Leinwand.

The Stork Simulator 1.0 with the 180° projection screen.

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

Der Wunsch mit diesem lebendig gewordenen Stück Technikgeschichte mitzufliegen ist leider aufgrund der Abnutzung des wertvollen Flugzeugs nur wenigen Personen vergönnt. Daraus ist der Fieseler Storch Flugsimulator im Rahmen eines interdisziplinären studentischen Projektes entstanden, welches ausschließlich durch Spenden finanziert wurde. Der Simulator besitzt in seiner derzeitigen Version eine 180° Leinwand, die den Piloten in die Simulation eintauchen lässt.

In der nächsten Ausbaustufe wird ein haptischer Joystick integriert, der die Windkräfte auf die Ruder und Klappen simuliert. Aktuell wird der Simulator auf verschiedenen Veranstaltungen zu sehen sein, bis er ein neues Zuhause im Hangar des Fieseler Storch Vereins für Kassel e.V. findet.

Detaillierte Informationen zum Projekt oder die Möglichkeit einmal selber zu fliegen finden Sie auf unserer Internetseite:
www.storch-simulator.de.

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

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

The Fieseler Stork flight simulator was created as part of an interdisciplinary student project, which was financed exclusively by donations. In its current version, the simulator has a 180° projection screen that allows the pilot to immerse in the simulation.

In the next development stage, a haptic joystick will be integrated to simulate the wind forces on the rudders and flaps. Currently, the simulator will be shown at various events until it finds a new home in the hangar of the Fieseler Storch Verein für Kassel e.V..

*You can find detailed information or the possibility to fly the simulator by yourself on our website:
www.storch-simulator.de.*

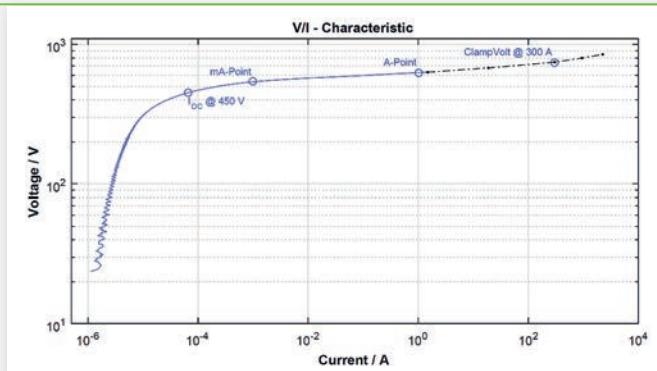
Ansprechpartner
STEFAN JÖRRES, M.SC.

Titel

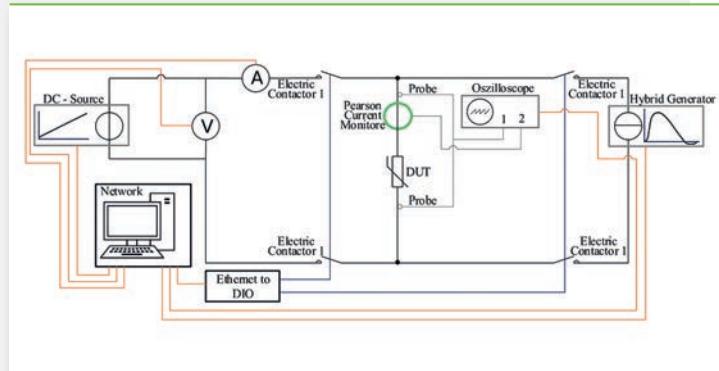
VOLLAUTOMATISIERTER VARISTOR-KENN-LINIEN PRÜFSTAND ZUR UNTERSUCHUNG ELEKTRISCHER DEGRADATION

title

FULLY AUTOMATED VARISTOR CHARACTERISTICS TEST BENCH FOR RESEARCHING THE ELECTRICAL DEGRADATION



*Varistorkennlinie mit typischen Charakterisierungswerten
Varistor characteristic with typical points of interest*



*Systemschaltplan mit Hauptkomponenten des Varistor-Kennlinien Prüfstandes
System diagram with key-components of the varistor characterisation test-bench*

Varistoren werden heutzutage häufig wegen ihrer Energieabsorptionsfähigkeit bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit und Effizienz eingesetzt. Überspannungen und damit verbundenen Ableitströme altern Metalloxid-Varistoren (MOV) im Laufe der Zeit. Um diese Degradationen bestimmen zu können, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, welcher Alterungseigenschaften und Prozesseinflüsse vollautomatisiert messen und bestimmen kann.

Eine kontinuierliche Kennlinienaufnahme über neun Dekaden, vom Leckstrom- bis zum Arbeitsbereich, ermöglicht die Untersuchung der Alterungseigenschaften von unterschiedlich belasteten MOVs. Der vollautomatisierte Prüfstand besteht aus einer rampengesteuerten Gleichspannungsquelle (1.5 kV, 2 A) und einem gegeneinander verriegelten Hybrid-Stoßspannungs-/Stoßstromgenerator (7 kV, 3.5 kA). Diese Prüfmethode kombiniert dabei gängige punktuelle Messungen wie den mA-Punkt, Leckstrom und den Nichtlinearitätsexponent Alpha.

Ergebnisse zeigen, dass typische Einzelpunktmessungen, abhängig von der Art der Belastung nicht ausreichen sind, um Alterungseigenschaften erfassen zu können. Insbesondere im Übergang vom ohmschen linearen Bereich zum stark nichtlinearen Bereich kann die unzureichende Aussagefähigkeit normativer Messungen nachgewiesen werden. Dieser Versuchsstand mit durchgängiger Kennlinienaufnahme ist daher die Grundlage für den Aufbau relevanter Alterungsmodelle in Abhängigkeit der Belastung.

Nowadays, varistors are widely used because of their energy absorption capability (EAC) with concomitant economy and efficiency. Surges and overvoltage transients unnoticeably degrade Metal Oxide Varistors (MOV) over time.

Therefore, an experimental setup has been developed for determining different aging characteristics and process influences. A precise continuous curve recording over nine decades from the ohmic leakage current area to the limiting resistance region up to several thousand Amperes allows studying aging characteristics of differently stressed MOVs. The fully automated test-bench consists of a ramp-controlled DC voltage source (1.5 kV, 2 A) and an interlocked combination surge voltage / surge current generator (7 kV, 3.5 kA). This test method combines common spot-measurements from the curves like mA-Point, leakage current and the nonlinearity exponent alpha.

Results show that typical single-point measurements, depending on the type of stress, are insufficient to detect all degradation characteristics. Especially in the transition area from the ohmic linear range to the non-linear range, the insufficient informative value of normative measurements can be demonstrated. Thus, this continuous curve recording test-bench is the basis for the development of relevant aging models depending on different stress conditions.



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

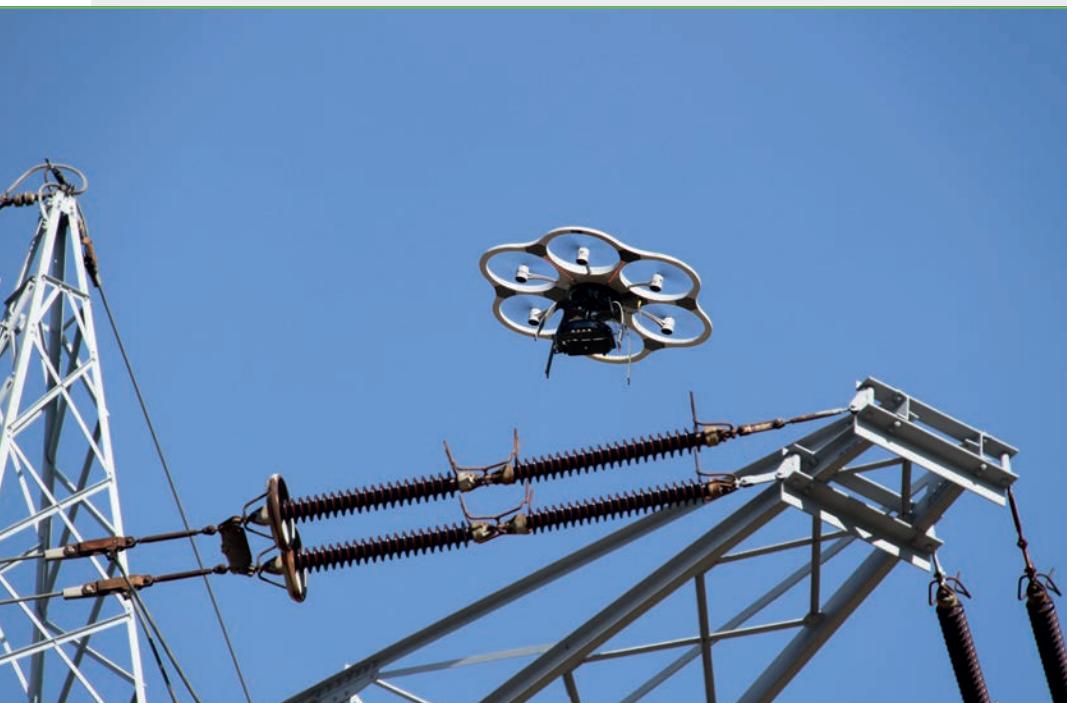
Ansprechpartner
TOBIAS RAULF, M.SC.

Titel

MONITORING VON HOCHSPANNUNGSFREILEITUNGEN

title

MONITORING OF OVERHEAD LINES WITH UNMANNED AERIAL SYSTEMS



UAV zur Inspektion an der Hochspannungsfreileitung

Inspection of the high voltage overhead line with an UAV

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

Aktuell werden bei Inspektionsflügen von Netzbetreibern mit UAS oder Helikoptern lediglich Sichtkontrollen durchgeführt, das dabei anfallende Bildmaterial wird anschließend manuell ausgewertet. In Zeiten steigender Anforderungen an die Verteil- und Transportnetzinfrastrukturen werden Maßnahmen und Methoden gesucht, die Inspektion dieser effizienter und nachhaltiger zu gestalten.

Das Fachgebiet AHT beschäftigt sich in diesem Zusammenhang mit der Entwicklung innovativer Inspektionssensorik. Zu diesem Zweck werden sich die Eigenschaften der Koronaentladung zu Nutze gemacht, denn diese können ein Indikator für Montagefehler, Insulationsdefekte oder Beschädigungen an Hochspannungsfreileitungen sein.

Ein Ansatz, der verfolgt wird, nutzt die elektromagnetischen Emissionen vom kHz- bis in den GHz-Bereich. Die Detektion erfolgt mit kompakten, leistungsstarken Breitbandempfängern und entsprechenden Richtfunkantennen. Ein solcher Receiver, auch Software Defined Radio (SDR) genannt, deckt den Empfangsbereich bis in den

The Unmanned Aerial Systems (UAS) are increasingly used for the overhead line monitoring (OHL). It is possible to detect damages to the insulator, pole, conductor cables and fittings from a short distance.

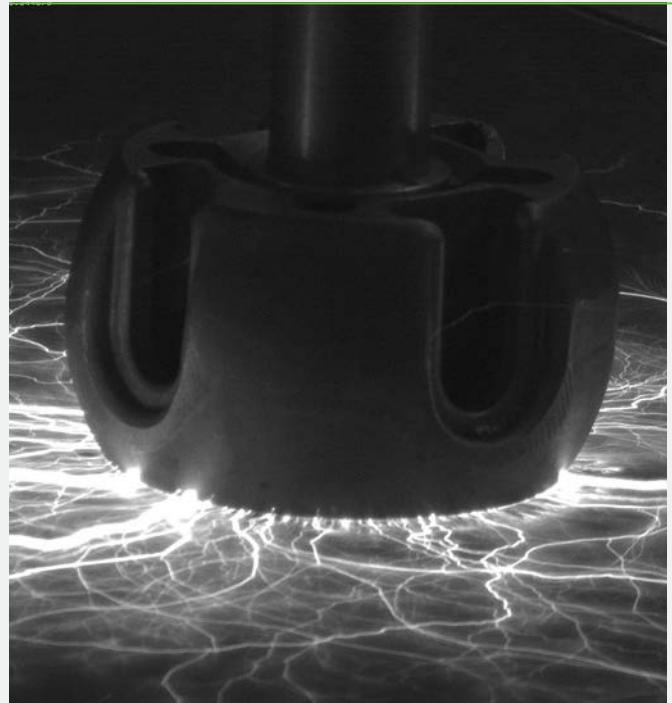
Currently, inspection flights with UASs or helicopters are performed with visual inspection, and the resulting image data are subsequently evaluated manually.

In times of increasing demands on distribution and transport network infrastructures, measures and methods are being sought to make the inspection of these infrastructures more efficient and sustainable.

In this context, the department AHT deals with the development of innovative inspection sensors. For this purpose, the properties of corona discharge are used as an indicator for assembly errors, insulation defects or damage to high-voltage overhead lines.

One approach being pursued uses electromagnetic emissions in the kHz to GHz range. The detection is carried out with compact, powerful broadband receivers and corresponding directional antennas. Such a receiver, also known as Software Defined Radio

Aufnahme von Oberflächenentladungen
mit der UV-Kamera
*Image of surface discharges taken with
the UV-camera*



einstelligen Gigahertz-Bereich ab. Die leistungsstarken A/D-Wandler ermöglichen diese kompakte Bauweise, da die Auswertung des Signals mittels Software realisiert wird.

Die ersten Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Detektion der Korona möglich ist, im nächsten Schritt folgt die Optimierung der Detektion hin zur Ortung.

Ein weiterer Ansatz ist die Detektion anhand der UV-Lichtemissionen der Koronaentladungen. Für dieses Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Westnetz GmbH eine CCD-Kamera zur Korona Detektion an Hochspannungsfreileitungen evaluiert. Ziel ist es, die Kamera im Labor sowie auch bei einem Inspektionsflug vom Hubschrauber aus einzusetzen. Die zentrale Problemstellung des Projektes ist die optimale Filtercharakteristik und Sensitivität, um auch bei Sonnenlicht, welches einen großen Spektralbereich der Entladungen überdeckt, die Korona Detektion zu ermöglichen.

Die Ergebnisse der Laborversuche sind vielversprechend, die Kamera erlaubt die Detektion und Lokalisation von Korona auch schon bei schwachen Entladungen und feinen Strukturen. Aktuell wird die Filtercharakteristik für die Anwendung im Außeneinsatz optimiert.

(SDR), covers the receiving range up to the gigahertz range. The powerful A/D converters make this compact design possible and the signal processing is done by software. The detection of the corona has already been successfully tested, the next step is the optimization of the detection towards localization.

The second approach is the detection of UV light emissions from corona discharges. For this project, a CCD camera for corona detection on high-voltage overhead lines is being evaluated in cooperation with Westnetz GmbH. The aim is to use the camera in the laboratory as well as during an inspection flight from a helicopter. The central problem of the project is the optimal filter characteristic and sensitivity to enable corona detection even in sunlight, which covers a large spectral range of the discharges.

The results of the laboratory experiments are promising, the camera allows the detection and localization of corona even with weak discharges and fine structures. The filter characteristics are currently being optimized for outdoor applications.

Ansprechpartner
HENRIK BROCKHAUS, M.SC.

Titel

SATELLITEN-NAVIGATION UNTER HOHEN ELEKTRISCHEN UND MAGNETISCHEN FELD-STÄRKEN

Beim Instandhaltungs-Monitoring von Hochspannungs-Freileitungen kommen verstärkt automatisierte Robotik-Systeme zum Einsatz. Unabhängig davon, ob hierbei auf Linecrawler-Technologie oder Flugplattformen (z. B. Multikopter) gesetzt wird, werden auf all diesen Robotik-Systemen Satellitennavigations-Systeme (Global Navigation Satellite System, GNSS), wie beispielsweise das bekannte GPS, zur Navigation und Georeferenzierung eingesetzt. Dabei sind die GNSS-Komponenten bei dieser Anwendung gegenüber klassischen Einsatzgebieten deutlich erhöhten elektrischen und magnetischen Feldstärken ausgesetzt. Im Fachgebiet AHT werden daher verschiedene Modelle von GNSS-Empfängern und Antennen unterschiedlicher Hersteller unter diesen Einsatzbedingungen auf ihre Funktion und Güte getestet. Zu diesem Zweck wurden Prüfstände entwickelt, in denen die Empfänger im Hochspannungs-Labor unter realen Bedingungen den elektromagnetischen Emissionen einer Freileitung ausgesetzt werden können. Hierzu zählen sowohl das elektrische und magnetische Feld mit Betriebs-Frequenz (50 Hz), aber ebenso höherfrequente Emissionen wie äußere Teilentladungen (Korona,



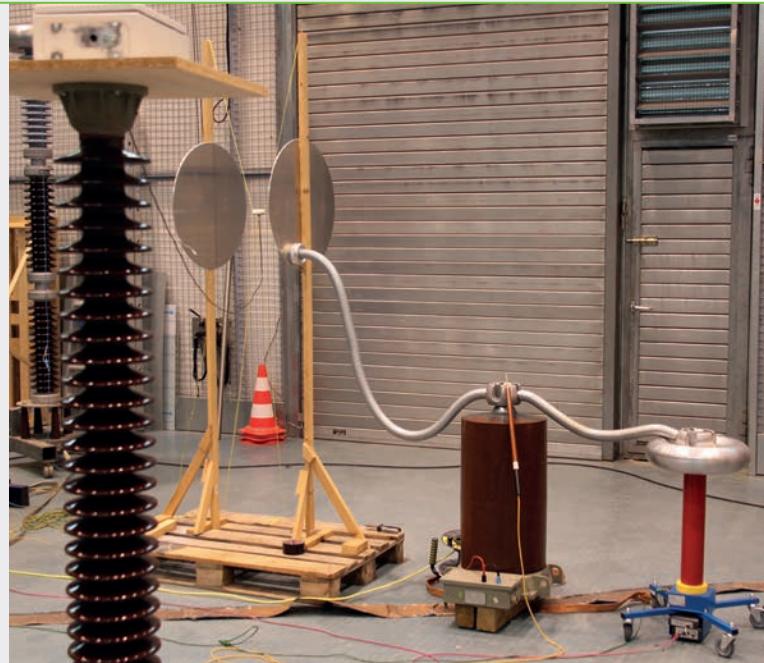
Multikopter beim Flug an einer Freileitung
Multicopter flying near high-voltage overhead line

0,2...20 MHz) und Funkenentladungen (10 kHz...1 GHz). Während des min. 24-stündigen Betriebs der GNSS-Empfänger in diesen Prüfständen werden deren Daten aufgezeichnet und können anschließend auf verschiedene Gütekriterien der Satelliten-Navigation hin ausgewertet werden.

Zur Durchführung der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Satelliten-Navigation verfügt das Fachgebiet AHT zusätzlich zur Ausstattung der Hochspannungs-Labore auch über eine vielfältige Ausstattung an GNSS-Geräten. Hierzu zählen unter anderem eine permanente RTK-Referenzstation (Real Time Kinematics), Zugriff auf Korrekturdaten aus RTK-Referenzstations-Netzwerken, zwei Mehrfrequenz-Multi-GNSS-RTK-Empfänger, GNSS-Repeater für Innen-Prüfstände, ein kalibrierter Außen-Prüfstand sowie über 40 verschiedene weitere Empfänger-Modelle.

title

SATELLITE NAVIGATION UNDER HIGH ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD STRENGTHS



E-Feld-Versuchsstand mit Plattenelektroden

E-field test bench with plate electrodes

Automated robotic systems are increasingly used in maintenance monitoring of high-voltage overhead lines. Regardless of whether this is based on linecrawler technology or flying platforms (e.g. multicopters), all these robotic systems use global navigation satellite systems (GNSS) like GPS for navigation and georeferencing. In this application, the GNSS components are exposed to significantly increased electric and magnetic field strengths compared to conventional applications. Therefore, different models of GNSS receivers and antennas of different manufacturers are tested for their function and quality under these conditions at the AHT-department. For this purpose, test benches have been developed in which the receivers can be exposed to the electromagnetic emissions of an overhead line under realistic conditions inside the high-voltage laboratory. These include both the electrical and magnetic field with operating grid frequency (50 Hz), but also emissions of higher frequencies such as external partial discharges (corona, 0.2 ... 20 MHz) and spark discharges (10 kHz ... 1 GHz). During the min. 24-hour operation of the GNSS receivers in these test benches, their data is recorded and can then be evaluated on various quality criteria of satellite navigation.

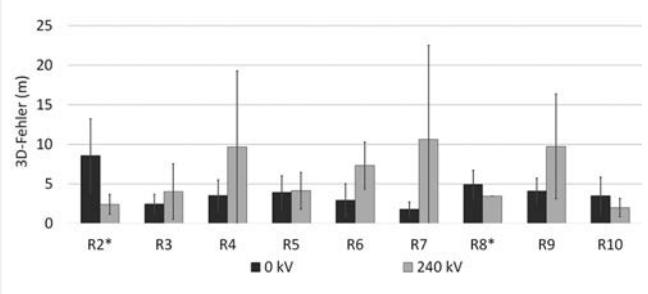
In addition to the equipment of the high-voltage laboratories, the AHT-department also has a wide range of GNSS equipment to carry out research in the field of satellite navigation. These include a RTK (Real Time Kinematics) reference station, access to augmentation data from RTK reference station networks, two multi-frequency multi-GNSS RTK receivers, a GNSS repeater for indoor test benches, a calibrated outdoor test bench, and over 40 different receiver models.



Korona-Versuchsstand mit gerissenem Freileitungs-Draht

Corona test bench with broken conductor wire

Die Auswertung bereits erfolgter Versuche mit Ein-Frequenz-Empfängern lieferte beispielsweise die Ergebnisse, dass die elektrischen und magnetischen Felder mit Betriebsfrequenz trotz ihrer großen Feldstärke keinen Einfluss auf die Funktion der Empfänger hatten. Hingegen verursachten Korona-Emissionen sehr große Abweichungen in der Verfügbarkeit und Genauigkeit der GNSS-Messungen, verglichen mit dem ungestörten Betrieb der Empfänger. Auf diese höherfrequenten Emissionen reagieren die getesteten Empfänger außerdem sehr unterschiedlich, so dass die Positionsbestimmung bei manchen erheblich verschlechtert wurde, bei anderen jedoch mit nahezu unveränderter Qualität weiter funktionierte. Dies zeigt insbesondere, dass die vom Fachgebiet AHT entwickelten Testmethoden auch vor dem Einsatz von GNSS-Empfängern im Umfeld hochspannungstechnischer Anlagen zur Vorab-Qualifikation der Geräte sehr sinnvoll sind.



Vergleich der 3D-Genauigkeit verschiedener GNSS-Empfänger ohne (0 kV) und mit (240 kV) Beeinflussung durch Korona-Entladungen

Comparison of 3D-accuracy of various GNSS-receivers uninfluenced (0 kV) and influenced (240 kV) by corona-discharges

For example, the evaluation of previous experiments with single-frequency receivers yielded the results that the electrical and magnetic fields of operating grid frequency had no influence on the receivers operation despite their high field strength. By contrast, corona emissions caused very large variations in the availability and accuracy of the GNSS measurements compared to the undisturbed operation of the receivers. The tested receivers also reacted very differently to these emissions of higher frequencies, so that the position determination became considerably degraded in some cases, but continued to work for others with almost unchanged quality. This shows in particular, that the test methods developed by AHT are very useful for pre-qualification of GNSS receivers in advance to their application in the environment of high-voltage systems.

Ansprechpartner
OLIVER SCHRÖDER

Titel

LABORAUSSTATTUNG

title

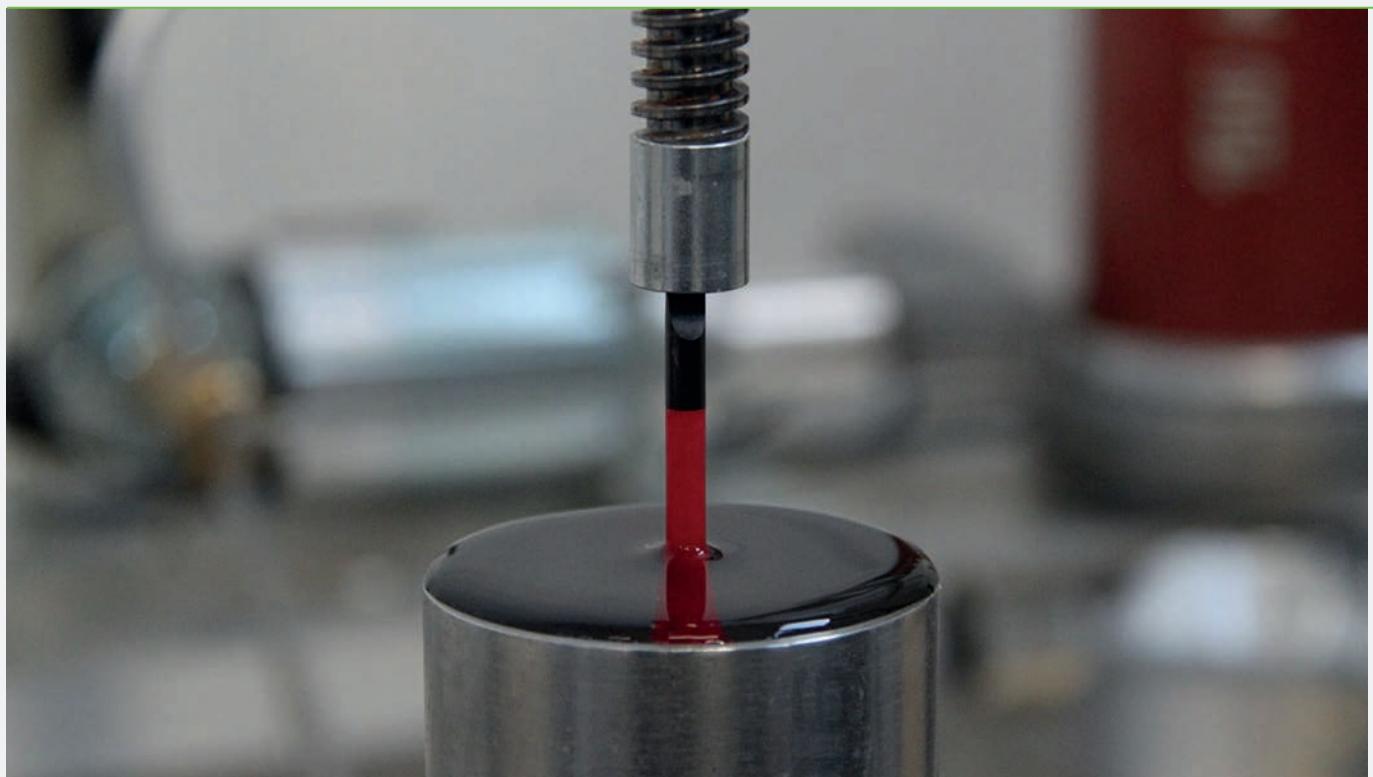
LABORATORY EQUIPMENT

Wechselspannung:	bis 300 kV 50 Hz 500 mA bis 200 kV 40 - 400 Hz 50 mA bis 10 kV 0 - 10 kHz 10 mA mit Arbitär Generator	AC voltage:	up to 300 kV 50 Hz 500 mA up to 200 kV 40 - 400 Hz 50 mA up to 10 kV 0 - 10 kHz 10 mA with arbitrary generator
Gleichspannung:	bis 280 kV 50 mA	DC voltage:	up to 280 kV 50 mA
Impulsspannung:	bis 1000 kV 1,2/50 µs (Blitzstoß) Abschneidung möglich bis 1000 kV 250/2500 µs (Schaltstoß) Abschneidung möglich bis 50 kV schnell repetierend hohe Flankensteilheit	Pulse voltage:	up to 1000 kV 1,2/50 µs (lightning) Chopping possible up to 1000 kV 250/2500 µs (switching) Chopping possible up to 50 kV fast repetitive fast rise time
Stoßstrom:	bis 20 kA 8/20 µs oder 4/10 µs	Surge current:	up to 20 kA 8/20 µs or 4/10 µs
Hybrid:	bis 7 kV 1,2/50 µs bis 3,5 kA 8/20 µs	Hybrid:	up to 7 kV 1,2/50 µs up to 3,5 kA 8/20 µs
Teilentladungsmessung:	bis 100 kV 0 - 400 Hz bis 5 kV repetierende Impulse mit hoher Flankensteilheit	Partial discharge:	up to 100 kV 0 - 400 Hz up to 5 kV fast repetitive Impulse with fast rise time
$\tan \delta$ - Messung:	bis 100 kV $\tan \delta$ bis 5×10^{-6}	$\tan \delta$ - measurement:	up to 100 kV $\tan \delta$ down to 5×10^{-6}
Widerstandsmessung:	bis $T\Omega$	Resistance measurement:	up to $T\Omega$
Klimabeeinflussung:	Konditionierung -40 °C bis 300 °C 10 % r.F. bis 95 % r.F. Prüfung und Messung bis 100 kV AC 140 kV DC 140 kV Impuls -40 °C bis 140 °C 10 % r.F. bis 95 % r.F.	Climate control:	conditioning -40 °C to 300 °C 10 % r.h. to 95 % r.h. testing and measurement up to 100 kV AC 140 kV DC 140 kV pulse -40 °C to 140 °C 10 % r.h. to 95 % r.h.
Weitere Ausstattung:	- Messungen unter Vakuum oder Überdruck - Messungen unter Isolergas - Prüfgeräte für flüssige Isolierstoffe - Simulation elektr. Felder (COMSOL)	Further equipment:	- Measurements under vacuum or pressure - Measurements under insulating gas - Test equipment for insulating fluids - Simulation of electric fields (COMSOL)



Versuchsaufbau zur Messung des Teilentladungs-Verhaltens von Pressmassen.

Experimental setup for measuring the partial discharge behavior of molding compounds.



Entwicklungsbegleitende normative Typprüfung von Werkzeugen zur Arbeit an spannungsführenden Teilen.

Normative type testing to accompany the development of tools for work on live parts.





Integrierte
Energiesysteme



Ansprechpartner

PROF. DR. RER. NAT. CLEMENS HOFFMANN

Titel

DAS FACHGEBIET INTEGRIERTE ENERGIE-SYSTEME

title

INTEGRATED ENERGY SYSTEMS



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

Das KDEE untersucht im Projekt die Möglichkeiten, die sich durch eine zunehmende Digitalisierung der Energiewirtschaft ergeben. Insbesondere wird untersucht, welche Möglichkeiten die geplante Einführung intelligenter Stromzähler für den automatisierten, direkten Strom-

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

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



Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann

handel zwischen Erzeugern und Verbrauchern bietet. Dazu werden Zukunftsszenarien des Stromhandels in Computersimulationen abgebildet und untersucht.

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

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

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

- **Systemtheorie der Energiewende**
- **Informations- und Kommunikationsstrukturen in der Energiewirtschaft**
- **Standortbewertung für Windenergieanlagen**
- **Windenergie als Teil des Energieversorgungssystems**

Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann

Dr.-Ing. Reinhard Mackensen

Dr.-Ing. Doron Callies, Dipl.-Geoökol. Lukas Pauscher

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Rohrig

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

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung werden Stand und Perspektiven vor allem des Netzausbau, der Speicherkapazitäten, der Nachfrageseite und der Erzeugung (zentral und dezentral) sowie die Wechselwirkungen dieser Dimensionen in den Blick genommen. Darauf hinaus liefert das Projekt auch konkrete, technische Konzepte, wie z.B. im Bereich der energiebezogenen Kommunikationsinfrastruktur (IKT), sowie rechtliche Analysen. Auch die Entwicklung möglicher neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungen ist Gegenstand der Forschung. Die Analyse von Maßnahmen in verschiedene Modellregionen unterstützt zusätzlich das bessere Verständnis der Erfolgsfaktoren für den Umbau des Energiesystems.

Das Fachgebiet INES innerhalb des KDEE ist als Partner sowohl im AP Sektorenkopplung als auch im AP Digitalisierung und IKT beteiligt.

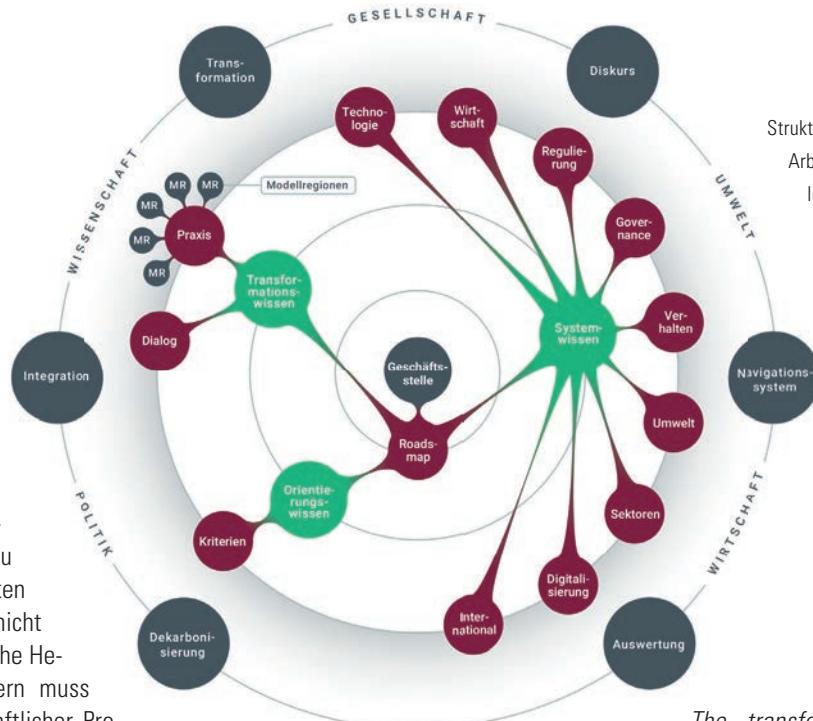
Struktur des Verbundprojektes ENavi: Neun Arbeitspakete schaffen Systemwissen und leiten daraus Handlungsoptionen ab, die anhand gesellschaftlich relevanter Kriterien bewertet und mit Transformationswissen aus der Praxis angereichert werden.

Structure of the research project ENavi: Nine work packages create expertise of the energy system and derive policy options which are evaluated based on socially relevant criteria and enhanced by functional knowledge during field experiments.

The transformation of the energy supply towards a fossil-free energy system is not only technically challenging but needs to consider societal processes as well. Besides technical requirements for the system's reliability and stability, environmental as well as economic and social sustainability, but also political feasibility need to be taken into account. Within the research project ENavi more than 60 partners of science, economy, and society commonly investigate options to support the transition of the energy system and their impacts on various societal domains. The objective is developing a navigation system for the transition of the energy system.

To gain a holistic view an assessment is being made of, in particular, the current state of and outlook for network expansion, storage capacities, the demand side and (central and decentralised) generation, together with the interactions between these dimensions. The project is also supplying technical concepts in the area of, for example, energy-related communication infrastructure (ICT), and legal analyses. Additionally, the development of possible new business models and services forms part of the research program. Analyses of policy packages in several model regions supports better understanding of key effects for the transition of the energy system.

The department INES within KDEE is part of work packages sector coupling as well as digitalisation and ICT.



Ansprechpartner

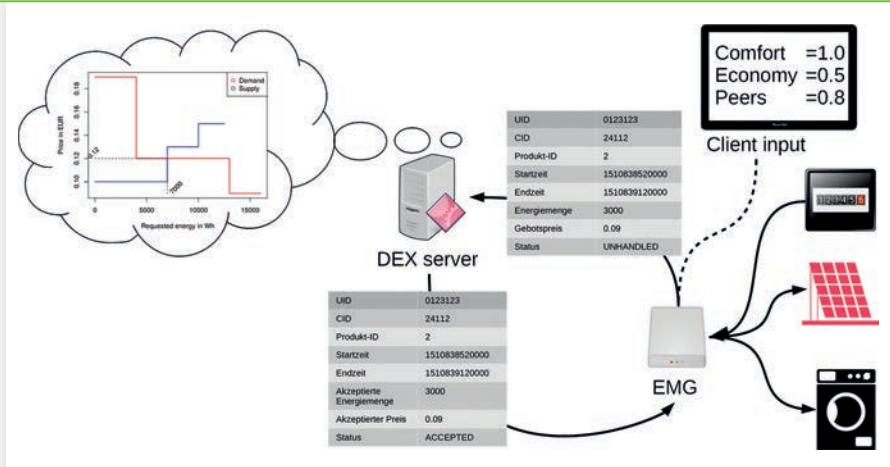
DR. SASCHA HOLZHAUER

Titel

ENAVI ARBEITSPAKET 9: DIGITALISIERUNG UND IKT

title

ENAVI WORK PACKAGE 9: DIGITALISATION AND ICT



Structure of the Direct Energy Exchange (DEX): Energy Management Gateways (EMG) deal as proxies for chargeing devices and PV modules at the market server in a semi-automated way.

Struktur des DEX: Energiemanagement-Gateways (EMG) handeln als digitale Vertreter der angeschlossenen Geräte wie Ladestationen oder PV-Anlagen auf einem Marktserver.

Ein zukünftiges, auf erneuerbaren Energien basiertes Energiesystem verbindet die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr miteinander. Da Windkraft- und Photovoltaikanlagen nicht immer gleichmäßig, sondern volatil Strom produzieren, muss neben der Nutzung von Speichern der Verbrauch an die Erzeugung angepasst werden. Ein direkter Energiemarkt (DEX) kann Preissignale erzeugen, die entsprechende Lastverschiebungen (Wärmepumpen, Aufladung von Elektroautos) anreizen.

In einer im Fachgebiet INES in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IEE aufgebauten Demonstrationsumgebung wird jeder Prosumer durch einen Softwareagenten repräsentiert, der auf Basis heterogener Hardwarekonfigurationen und individueller Verhaltenspräferenzen („subjektive Merit-Order“) an einer Stromhandelsplattform agiert. Ein wichtiger Baustein ist hier die agentenbasierte, automatisierte Beobachtung und Prognose der eigenen Erzeugung, des eigenen Verbrauchs und der relevanten Marktprodukte. Die zu einem Prosumer gehörenden Erzeugungs- und Verbrauchskomponenten werden dabei hardwarenah simuliert. Der optimierte Stromhandel der Prosumer wird auf verteilten OGEMA-Energiemanagementsystemen implementiert.

Im Rahmen des AP9, Digitalisierung und IKT, werden im Realbetrieb verwendbare Kommunikationsstrukturen zwischen Marktteilnehmern und -plattform entwickelt und bewertet. Sicherheit und Stabilität des Systems gegenüber Angriffen und Ausfällen stehen dabei im Mittelpunkt. Neben der Analyse der technischen Umsetzbarkeit sollen insbesondere auch alternative Marktdesigns realisiert, deren Wirkung simuliert und die Resultate für weitergehende Analysen zugänglich gemacht werden.

The future energy system is based on renewable energy sources and couples electricity, heat, and traffic. Because wind and solar power are not provided uniformly but fluctuating, besides the application of storage facilities the consumption of electricity needs to be aligned with its generation. A direct energy exchange (DEX) is able to send price signals which incentivise load shifts (heat pumps, charging electric vehicles).

In cooperation with Fraunhofer IEE the department INES builds up a demonstration environment, representing each prosumer as a software agent which deals at an exchange platform based on heterogeneous hardware configurations and individual consumption preferences. An important building block is an agent-based, automated monitoring and forecast of energy consumption and generation as well as market development. Various devices are emulated and linked to a prosumer. The optimised trade is implemented on physically distributed OGEMA clients.

Within AP9, Digitalisation and ICT, applicable communication structures between market participants and the platform are developed and evaluated. The focus is on the system's security and stability towards attacks and disturbances. Besides investigations about the technical feasibility alternative market designs are subjects of research.

ENAVI ARBEITSPAKET 8: INTEGRATION DER SEKTOREN STROM, WÄRME, VERKEHR

title

ENAVI WORKING PACKAGE 8: INTEGRATION OF SECTORS ELECTRICITY, HEAT, AND MOBILITY



Grafische Benutzeroberfläche des Dialogtools (IDEA), welches unter Berücksichtigung technologische Kosten und physikalische Machbarkeit ein kostenminimales, komplett erneuerbares Energiesystem identifiziert. Innerhalb von ENavi findet die Implementierung und Ergebnisverifizierung statt.

Graphical user interface of the dialogue tool (IDEA) that allows finding the cost-minimal fully-renewable energy system with respect to technology costs and physical boundaries. The algorithmic implementation and result verification is done in ENavi.

Eine umfassende Defossilisierung des Energiesystems erfordert die detaillierte Analyse einer verstärkten Kopplung der Energieverbrauchssektoren. Diese erst ermöglicht einzelnen Sektoren durch den Einsatz erneuerbaren Stromes den Zugang zu erneuerbaren Energien und bietet ein bedeutendes Flexibilitätspotential. Dabei werden technische, wirtschaftliche und regulatorische Aspekte berücksichtigt, bis hin zur Frage, ob und wie die jeweils betroffenen Akteure einbezogen werden können und müssen.

INES entwickelt im Arbeitspaket 8 ein Dialogtool (IDEA), das technooökonomische Energiesystemanalysen interaktiven Entscheidungsprozessen und Diskussionsrunden mit den Stakeholdern der Energiewende zugänglich macht. Dafür wird zunächst eine große Menge mathematisch zulässiger Energiesystemlösungen (Stützstellen) mithilfe eines optimierenden Energiesystemmodells vorberechnet und anschließend eine Splinefunktion generiert. Das Tool nutzt diese als Basis, um in Echtzeit die Auswirkung von justierbaren wirtschaftlichen, technischen oder politischen Parametern auf einen optimalen Erzeugungs- und Speicherkraftwerkspark zu illustrieren. Diese Methode wurde bereits implementiert, sodass nun eine Validierung und abschließende Bewertung folgt.

A comprehensively fossil-free energy system via the integration of renewable energies requires a detailed analysis of an expanded coupling between energy sectors. This will enable individual sectors to gain access to renewable energies using renewable electricity and offers significant potential for flexibility. Technical, economic and regulatory aspects are taken into account, including the question of whether and how the relevant stakeholders can and must be involved.

In work package 8 INES develops a Dialogue Tool (IDEA) which makes techno-economic energy system analyses accessible to interactive decision-making processes and discussions with the stakeholders of the energy transition. First of all, a large number of feasible energy system solutions (interpolation points) are pre-calculated using an optimising energy system model. Then, a spline function is generated. The tool uses the function as a basis to illustrate in real time the impact of adjustable economic, technical or political parameters for an optimal generation and storage power plant park. This method has already been implemented and will be validated and evaluated.

Ansprechpartner

ALEXANDER BASSE, M.SC.

Titel

LiMeS – OPTIMIERUNG VON LIDAR-BASIERTEN MESSSTRATEGIEN ZUR STANDORTBEWERTUNG VON WINDPARKS



LiDAR-Gerät des Typs Windcube, wie es auch in der Messkampagne innerhalb des LiMeS-Projektes zum Einsatz kam (Foto bereitgestellt durch Projektpartner Fraunhofer IEE).

LiDAR device (type Windcube), as also used in the measurement campaign within the LiMeS project (photo provided by project partner Fraunhofer IEE).

Für das Gelingen der Energiewende ist ein konsequenter Ausbau der Windenergie erforderlich. Die genaue Bestimmung des Windpotenzials ist die zentrale Voraussetzung für die wirtschaftlich erfolgreiche Umsetzung von Windparkprojekten und stellt somit die Basis für eine positive Entwicklung der Windenergie dar. Im Forschungsprojekt LiMeS werden in einem ganzheitlichen Ansatz verschiedene Aspekte dieser Windpotentialbestimmung untersucht und optimiert.

Laserbasierte Fernmessgeräte (sog. LiDAR, engl.: Light Detection And Ranging) ermöglichen die Messung der Windgeschwindigkeit in großen Höhen vom Boden aus und bieten insbesondere aufgrund ihrer Flexibilität eine attraktive Alternative zu hohen Windmessmasten. Das KDEE erforscht im Projekt Möglichkeiten beim Einsatz der LiDAR-Messtechnik. Es werden neue, räumlich und zeitlich variable Messaufbauten (Messstrategien) entwickelt und analysiert. Ziel ist die Steigerung von Effizienz und Genauigkeit moderner Methoden zur Windpotentialbestimmung mit LiDAR. Das KDEE ist dabei vor allem an der Verbesserung von Messstrategien mit kurzzeitigen LiDAR-Messungen (d.h. Messdauer von wenigen Monaten) sowie der Vertikalextrapolation der Windgeschwindigkeit beteiligt. Im Fokus stehen die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Kombination von Messmast- und kurzzeitigen LiDAR-Messungen sowie die Analyse verschiedener Methoden zur langzeitlichen Einordnung (Langzeitkorrektur) von Kurzzeitwindmessdaten.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

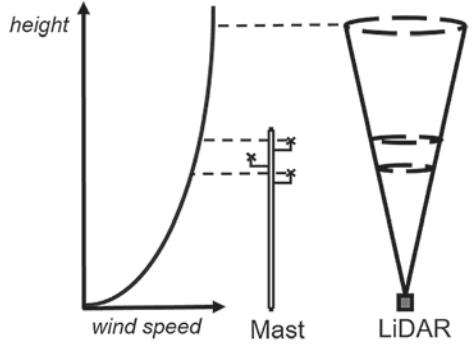
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem
Förderkennzeichen 0324159E**

title

LiMeS – OPTIMIZATION OF LIDAR-BASED MEASUREMENT STRATEGIES FOR RESOURCE ASSESSMENT OF WIND FARMS

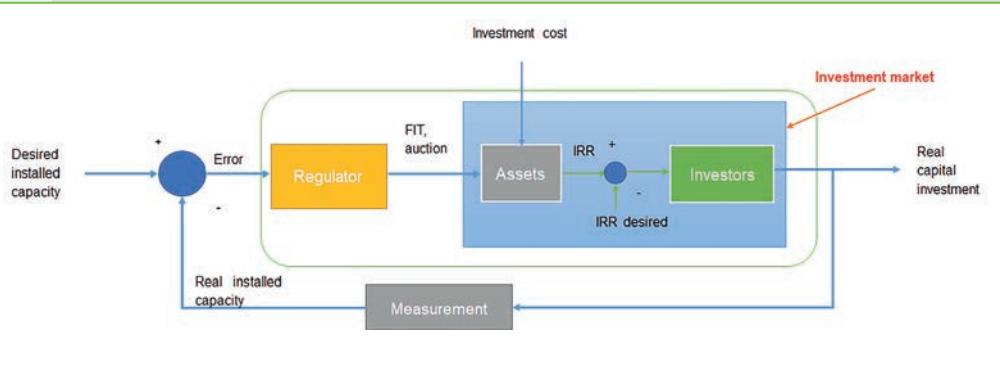
Skizze eines Messaufbaus mit Mast und LiDAR. Mittels kurzzeitiger LiDAR-Messung wird der Wind auf der Zielhöhe (i.d.R. die Nabenhöhe einer Windkraftanlage) direkt gemessen. Auf diese Weise kann das Windprofil im gesamten relevanten Höhenbereich bestimmt und die Vertikalextrapolation verbessert werden.



Sketch of a measurement setup with mast and LiDAR. Using a short-term LiDAR measurement enables the measurement of wind at the target height (usually the hub height of a wind turbine) directly. In this way, the wind profile can be determined over the entire relevant height range and vertical extrapolation can be improved.

The successful transition of the energy system towards renewable energies requires a consistent expansion of wind energy. The precise determination of wind potential is the central prerequisite for an economically successful implementation of wind farm projects and thus forms the basis for a positive development of the wind energy sector. In a holistic approach the research project LiMeS investigates and optimises different aspects of this resource assessment.

Laser-based remote sensing devices (so-called LiDAR, Light Detection And Ranging) enable measurements of wind at great heights from the ground. They offer an attractive alternative to high wind measuring masts, especially due to their flexibility. In this project, the KDEE investigates the opportunities of using LiDAR measurement technology. New spatially and temporally variable measurement set-ups (measurement strategies) are developed and analysed. The aim is an increase in the efficiency and accuracy of modern methods for determining the wind potential with LiDAR. The KDEE is mainly involved in the development and improvement of measurement strategies with short-term LiDAR measurements (i.e. measurement duration of only a few months) and vertical extrapolation of wind speed. The focus is on the development of suitable methods for combining measuring mast and short-term LiDAR measurements as well as the analysis of different methods for long-term correction of short-term wind measurement data.



Ein Blockdiagramm des Regelungssystems der Investitionen in erneuerbare Energien
A block diagram of the feedback control system of investment markets in renewables

Entwicklung eines ökonomischen Rückkopplungsmechanismus zur Gewährleistung eines nachhaltigen und robusten Investitionswachstums von Wind- und Sonnenenergie

Die Regierung legt einen Zielwert erneuerbarer Investitionen fest (z. B. 2.500 MW/Jahr der PV-Anlage) und nutzt Preismechanismen (z. B. Einspeisevergütung), um den Anlagemarkt entsprechend anzureizen. Die Investitionsentscheidungen – ja oder nein, wann und in welcher Höhe – werden jedoch von den Investoren getroffen. Wir wissen, dass die meisten Investoren die Entscheidungen mit der Erwartung der Rentabilität (interne Rendite) treffen. Die Rentabilität hängt nicht nur von den Kosten ab, sondern auch vom Strompreis, der von der Regierung über Einspeisevergütung, den Auktionsmechanismus oder indirekt über CO₂-Steuern verändert werden kann. So können Vorschriften erlassen werden, um die Investitionstätigkeit zu beeinflussen. Die Festlegung eines geeigneten Preismechanismus ist jedoch nicht trivial. Einerseits ist es eine schwierige Aufgabe, die Kostenänderungen von Windkraftanlagen und Sonnenkollektoren genau vorherzusagen. Auf der anderen Seite sind das Verstehen der Investoren und das Abschätzen ihres Verhaltens Herausforderungen. Wenn Sie die Vorschriften auf der Grundlage solcher Vorhersagen und Schätzungen treffen, ist das Erreichen des Investitionsziels daher nicht gewährleistet.

In dieser Studie wird eine innovative Methode der Investitionskontrolle untersucht und entwickelt, die den Unterschied zwischen der angestrebten und der tatsächlich installierten Kapazität auf der Grundlage von Rückmeldeinformationen der „realen Investition“ anstelle der „Vorhersagewerte“ minimiert. Die Hauptziele dieser Forschung sind die Entwicklung mathematischer Formeln für Vorschriften, wobei der Schwerpunkt auf der Architektur von Steuerungssystemen liegt, die eine nachhaltige und robuste Entwicklung der Wind- und Sonnenenergie gewährleisten.

Development of an economic feedback mechanism for guaranteeing the sustainable and robust investment growth of wind and solar power

The government sets targets for renewable investment (2,500 MW/year of the solar PV installation, for example) and employs the price mechanisms (feed-in tariff, for example) to drive the investment markets to achieve that objective. However, the investment decisions - yes or no, when, and how much - are made by investors. We know that most of the investors make the decisions with the expectation of profitability (internal rate of return). Profitability depends on not only the cost but also the electricity price which can be oriented by the government under FIT, auction mechanism or indirectly through the CO₂ price mechanism. Thus, the government can adopt regulations to influence investment activities. However, setting an appropriate price mechanism is not easy. On the one hand, it is a tough task to predict the changes in costs of wind turbines, and solar panels accurately. On the other hand, understanding the investors, guessing their behavior are challenges. Therefore, making the regulations based on "prediction" and "guess" does not ensure to achieve the investment target.

In this research, an innovative method of investment control is studied and developed which minimizes the difference between the targeted and real installed capacity based on feedback information of "real investment" instead of "prediction numbers". The main objective of this research is developing mathematical shapes for regulations, mainly focusing on the architecture of control systems which guarantee sustainable and robust development of wind and solar power.

Ansprechpartner

PROF. DR. CLEMENS HOFFMANN

Titel

KRAFTSTEUERUNG IN EINEM „E-ROWBOAT“

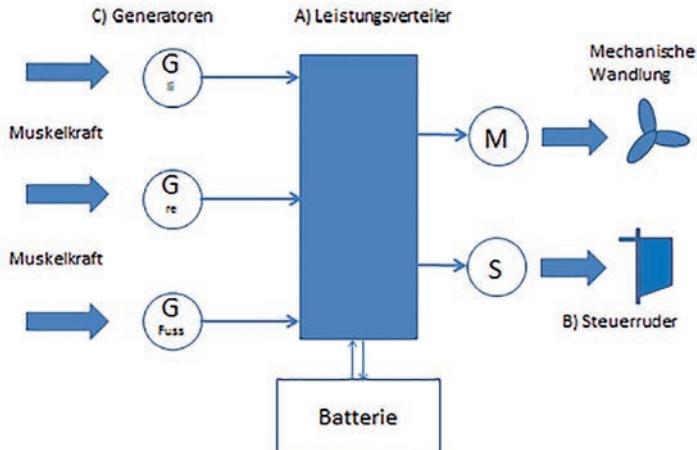
title

FORCE CONTROL IN AN “E-ROWBOAT”

Der Vortrieb bei einem Ruderboot wird durch Muskelkraft mittels eines oder mehrerer Ruderblätter erzeugt. Vorteilhaft bei diesem klassischen Wasserfahrzeug ist die Unabhängigkeit von allen externen Energiequellen. Andererseits sind sowohl die menschliche Leistung als auch Energie deutlich begrenzt und schränken damit Geschwindigkeit und Reichweite eines Ruderbootes ein. Das e-Rowboat kombiniert die Eigenschaften eines mechanisch angetriebenen Ruderbootes mit denen eines motorisch angetriebenen Bootes. Die Erfindung beschränkt sich auf elektromotorische Antriebe. Der Elektromotor bietet eine deutlich einfachere Integration mit den Leistungsschwankungen des muskelgetriebenen, mechanischen Antriebes.

Darüber hinaus ist ein Elektromotor auch besser mit dem Einsatz in der freien Natur aufgrund der Vermeidung von Lärm- und Abgasemissionen vereinbar.

Im Rahmen von mehreren Bachelor- und Master-Arbeiten sollen der Antriebsstrang und die Steuerung eines e-Rowboats entwickelt werden. Das Fahrzeug addiert nach Anforderung mechanische und elektrische Leistungen und gibt sie an den Antriebsstrang weiter. Die mechanischen Leistungen werden durch Generatoren elektrisch gewandelt. Unterstützungsleistungen werden aus einer Batterie und einem Superkondensator bezogen. Abgeleitet von Drehmoment-Messungen und weiteren Voreinstellungen werden die verschiedenen Leistungsbeiträge ermittelt. Dabei wird aus der Leistungsforderrung an den Generatoren die elektrische Belastung errechnet und in Puls-Weiten-Steuerungen der involvierten Wechselrichter umgesetzt. Das Projekt umfasst den Aufbau eines Messplatzes für die Vermessung der Generator-Getriebe-Einheiten, Messkampagnen für die Ermittlung des Wirkungsgrades dieser Einheiten, die Entwicklung der Leistungselektronik und des Schutzkonzeptes für den Antriebsstrang, den Test dieser Ansteuerung, sowie die Entwicklung einer übergeordneten Betriebsführung.

Leistungsflüsse

Mehrere Generatoren wandeln die Muskelkraft in elektrische Energie um. Hier sind jeweils ein Generator für die linke und rechte Hand, sowie für einen Fußschlitten dargestellt. Zwischen Muskelkraft und Generatoren können noch Getriebe zwischengeschaltet sein. Ein Leistungsverteiler übernimmt die Steuerung der Leistungsströme.

Multiple generators convert muscle power into electrical energy. Here, a generator for the left and right hand and a generator for a foot slide are considered. Between muscle power and generators there can be a gearbox. A power distributor takes over the control of the power currents.

The thrust of a rowing boat is produced by muscle power by means of one or more rudder blades. The advantage of this classic watercraft is its independence from all external energy sources. On the other hand, both human power and energy are clearly limited and thus limit the speed and range of a rowing boat. The e-Rowboat combines the characteristics of a mechanically driven rowing boat with those of a motor driven boat. The invention is limited to electromotive drives. The electric motor provides much easier integration with the power fluctuations of the muscle-driven mechanical drive. In addition, an electric motor is also more suitable for outdoor use due to the absence of noise and exhaust emissions.

Several Bachelor's and Master's theses will be focused on developing the powertrain and control system of an e-Rowboat. The vehicle adds mechanical and electrical power as per the requirements and transmits it to the drive train. The mechanical power is converted to electrical power by generators. Support power is obtained from a battery and a SuperCap. The various power contributions are derived from torque measurements and other pre-settings. The electrical load is calculated from the power demand on the generators and converted into pulse-width controls of the inverters used. The project comprises the construction of a measuring station for the measurement of the generator-gear-units, measuring campaigns for the determination of the efficiency of these units, the development of the power electronics and the protection concept for the drive train, the test of this control, as well as the development of a higher-level operational management.



2017 / 2018

ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN

DR.-ING. MILENA DIAS (EVS)

title

DISCRETE TIME SLIDING MODE CONTROL STRATEGIES APPLIED TO A MULTIPHASE BRUSHLESS DC MACHINE

Milena Dias



Zusammenfassung

Umweltprobleme motivieren heutzutage dazu, mechanische, hydraulische und pneumatische Systeme im Verkehrssektor durch elektrische Systeme zu ersetzen, um die durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in Fahrzeugen verursachten Emissionen zu reduzieren. Das elektrische System muss einen hohen elektrischen Wirkungsgrad gewährleisten und sollte das Gewicht der ausgetauschten Komponenten nicht überschreiten. Um diesen hohen Leistungsanforderungen gerecht zu werden, wurde eine fehltolerante bürstenlose Mehrphasen-Gleichstrommaschine (BLDC) für diese Forschung ausgewählt.

Die vorliegende Arbeit stellt eine sechsphasige 600 W-Brushless-Gleichstrommaschine mit 8 Polen vor. Die Hauptherausforderung für die Steuerungsprobleme dieser Maschine ist die gegenseitige magnetische Kopplung zwischen den Phasen aufgrund der Konfiguration der Wellenwickelmaschine.

In diesem Zusammenhang werden theoretische und praktische Untersuchungen verschiedener Stromsteuerstrategien basierend auf dem Gleitmodus-Steuerungsansatz der bürstenlosen 6-Phasen-Gleichstrommaschine vorgestellt.

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

Zweitgutachter: Prof. Rodrigo Padilha Vieira

Tag der Disputation: 20. Januar 2017

Summary

Nowadays, environmental issues motivates the replacement of mechanical, hydraulic and pneumatic system by electrical system in the transport sector aiming to reduce emissions generated by burning of fossil fuels in vehicles. The electrical system must ensure high electrical efficiency and should not exceed the weight of the substituted components. To attend these high performance requirements a fault-tolerant multiphase brushless DC machine was chosen for this research.

The present work introduces a six-phase 600W brushless DC machine with 8 poles. The main challenge for the control issues of this machine is the mutual magnetic coupling between the phases due to the wave winding machine configuration.

In this context, theoretical and practical investigations of different current control strategies based on the sliding mode control approach applied to the six-phase brushless DC machine are presented.

DR.-ING. FREY ALBERTO FLOREZ ALZATE (EVS)

Titel

CHARAKTERISIERUNG, MODELLIERUNG UND IMPLEMENTIERUNG DES TSO-SICHERHEITS- ABLAUFS UND SEINER ANWENDUNG IN DER OPERATIVEN PLANUNG VON GROSSEN ERNEUERBAREN RESSOURCEN

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

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

Tag der Disputation: 24. Februar 2017



Frey Alberto Florez Alzate

Zusammenfassung

Ziel dieser Dissertation ist es, die Auswirkungen der Integration von Windkraft in die Energieversorgung in großem Maßstab zu analysieren. Hauptaspekt ist die betriebliche Sicherheitsplanung von großen Versorgungssystemen. Die Arbeit wurde in drei Abschnitte eingeteilt:

- direkte Untersuchungen zur Systemsicherheit des Energiesystems
- Untersuchung der angeschlossenen Energieversorgungsanlagen mit erneuerbaren Energiekomponenten
- Untersuchung der implementierten bzw. zu implementierenden IT Komponenten, die Systemsicherheit unterstützen.

Das Konzept der Netz sicherheit wurde unter Berücksichtigung des Übertragungsnetzes analysiert. Es werden zwei Konzepte für ein Sicherheitsmodul und den TSO-Sicherheits-Ablauf als Abstraktion vorgeschlagen. Es wird ein Verfahren geschaffen, das die Komplexität der Analyse reduziert. Planungsphasen wie Langfristig, Week-Ahead, Day-Ahead und Intra-Day sowie die Wechselwirkung zwischen benachbarten Übertragungsnetzbetreibern werden simuliert. Zwei Informationssystemarchitekturen und Simulationskonfigurationen wurden entworfen und implementiert, um auch großräumig zu bewerten zu können. Es werden Störungen (N-1, N-2, N-K) im deutschen Stromnetz 380/220 kV untersucht bei vorhandenen und nicht vorhandenen großen Windkraft-Anteilen. Aus den Ergebnissen werden Empfehlungen für die Gestaltung abgeleitet.

Summary

The aim of this dissertation is to analyze the effects of the integration of wind power into the energy supply on a large scale. The main aspect is the operational safety planning of large supply systems. The work was divided into three sections:

- direct investigations into the system security of the energy system
- Examination of the connected energy supply systems with renewable energy components
- Investigate the implemented or deployed IT components that support system security.

The concept of network security was analyzed taking into account the transmission network. Two concepts for a security module and the TSO security flow as abstraction are proposed. A method is created that reduces the complexity of the analysis. Planning phases such as long-term, week-ahead, day-ahead and intra-day as well as the interaction between neighboring transmission system operators are simulated. Two information system architectures and simulation configurations were designed and implemented in order to be able to evaluate large-scale. Disturbances (N-1, N-2, N-K) in the German power grid 380/220 kV are investigated for existing and non-existent large wind power shares. From the results recommendations for the design are derived.

LOAD REDUCING CONTROL FOR WIND TURBINES: LOAD ESTIMATION AND HIGHER LEVEL CONTROLLER TUNING BASED ON DISTURBANCE SPECTRA AND LINEAR MODELS

Martin Shan



Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung und Demonstration eines effizienten und pragmatischen Ansatzes für die Auslegung und Optimierung lastreduzierender Regelungssystemen für Windenergieanlagen (WEA). Lastreduzierende Regelung meint hierbei die aktive Reduktion von mechanischen Lasten durch die Einbindung zusätzlicher Last- und Schwingungssignale in die klassische Drehzahlregelungs-Struktur von WEA. Somit resultiert ein Mehrgrößen-Regelungsproblem.

Für die Auslegung dieser lastreduzierenden Regelungen werden Ansätze im Frequenzbereich, basierend auf der Minimierung von H_∞ - oder H_2 -Systemnorm-Kriterien vorgeschlagen. Dies ist sinnvoll, da die Informationen über die wesentliche Störgröße – das auf den Rotor der WEA einwirkende turbulente Windfeld – im Allgemeinen nur auf statistischer Basis z. B. in Form von Leistungsdichtespektren vorliegen. Wenn die WEA als lineares System approximiert werden kann, ist es möglich, die Reglerbewertung basierend auf Leistungsdichtespektren sehr effizient ohne umfangreiche Zeitbereichssimulationen durchzuführen.

Im Besonderen werden die Auswirkungen der lastreduzierenden Regelungsstrategien auf die Stromgestehungskosten (LCOE) sowie auf die Auslegung des Pitchsystems diskutiert. Detaillierte Methoden für die Bewertung der Pitchsystemlasten werden beschrieben und mit Standard-Ansätzen aus der Literatur verglichen.

Es wird ausgeführt, dass der primäre Vorteil der Anwendung moderner Reglerentwurfsverfahren nicht das Auffinden eines für gegebene Kriterien optimalen Reglers ist. Vielmehr werden die Verfahren verwendet, um die Stabilität der geschlossenen Regelschleifen zu gewährleisten und die Kopplung zwischen den verschiedenen Reglerschleifen zu handhaben. Durch die Verwendung geeigneter parametrischer Gewichtungsfunktionen können übergeordnete (higher-level) Entwurfsvariablen definiert werden, die eine direktere Beziehung zu den eigentlichen Kriterien für den Regelungsentwurf haben als die Parameter klassischer Reglerstrukturen.

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

Zweitgutachter: Prof. Dr. Carlo L. Bottasso,
TU München

Tag der Disputation: 21. März 2017

Summary

The aim of this work is to demonstrate an efficient and pragmatic approach for design and optimisation of load reducing controllers for wind turbines. Load reducing control means that, besides the classical rotor speed control loop, load or oscillation signals are included as additional input signals into the controller. Thereby, a multiple-input-multiple-output (MIMO) control design problem arises.

For design of these load reducing pitch controllers, different approaches in the frequency domain based on H_∞ or H_2 norm minimization are proposed. This makes sense, because information on the main disturbance, the turbulence of the wind field, can only be given in a statistical sense, in form of frequency spectra. If the turbine behavior can be approximated by linear models, the controller evaluation can be carried out very efficiently, based on PSDs, without the need for comprehensive time domain simulations.

Special attention is given to the overall control strategy to decrease the levelised Cost of Energy (LCOE) and to the effects of load reducing pitch control on the rating of the pitch actuation system. Detailed methods for evaluating the pitch system loading for small cyclic movements are presented and compared to standard approaches.

It is motivated that the primary use of these multivariable control designs is not to find an optimum controller, but to assure the closed loop stability and to handle the couplings between different control loops. By using parametric weighting functions, higher level control design parameters can be introduced, having a more direct relation to performance and robustness properties than parameters of classical controller structures.

DR.-ING. XIAOYAN TANG (AHT)

Titel

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER ELEKTRISCHEN FESTIGKEIT AM RANDBEREICH DER STEUERBELÄGE IN TROCKENEN PAPIERFREIEN HV-DURCHFÜHRUNGEN

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

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

Tag der Disputation: 07. September 2017



Xiaoyan Tang

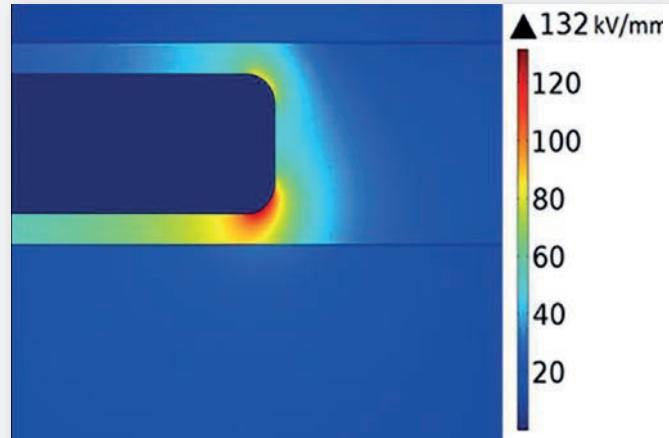
Zusammenfassung

Aufgrund einer Reihe technischer Grenzen und Umweltbelastungen der ölimprägnierten Papiere geht der Trend bei Hochspannungsdurchführungen hin zu leistungsstarken, umweltfreundlichen und trockenen Durchführungen. Dabei ist die Optimierung der elektrischen Festigkeit im Randbereich der Steuerbeläge, welcher als die Schwachstelle der elektrischen Festigkeit des gesamten Aufbaus bei kapazitiv gesteuerten Durchführungen gilt, eine zentrale Aufgabe. Das Ziel der Arbeit war, die Machbarkeit einer neuartigen trockenen, kapazitiv gesteuerten Hochspannungsdurchführung mit Kunststofffolien und alternativen Isolierstoffen zu untersuchen. Dabei wurde reines Silikongel für eine refraktive Feldsteuerung und zwei Silikongel-Compounds für die nicht lineare Feldsteuerung im Randbereich verwendet, um die elektrische Festigkeit der genannten Schwachstelle zu verbessern.

Für die Untersuchungen wurden zylindrische Wickelkondensatoren verwendet, welche den kritischen Randbereich der Steuerbeläge gut darstellen können. Prüflinge mit Luft am Randbereich dienen als Referenzprüfling. Vor den experimentellen Untersuchungen wurde die Feldverteilung im Randbereich mit Luft, reinem Silikongel und Silikongel-Compounds durch eine Feldberechnungssoftware simuliert und die Ergebnisse der Simulation wurden dann mit dem einander verglichen. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Verminderung der maximalen Feldstärke im Randbereich durch das Einbringen der Isolierstoffe im Vergleich zu Referenzprüflingen.

Summary

Because of a row of technical limitation and environmental pollution of oil impregnated bushings, the trend of the development of the high voltage condenser bushing is going towards paper-free and dry bushings. A central issue of this development is to optimize the border and edge areas of the conducting layers, in most case aluminum foil are used. The border and edge areas of the conducting layers are known as the weak point of the electrical behavior in the high voltage condenser bushings. The typical design of condenser bushing with layered aluminum foil and insulation film with different



Berechnete Feldstärkeverteilung im Randbereich der Aluminiumfolie mit einer Dicke von 72 µm. Die maximale Feldstärke erreicht den Wert 132 kV/mm bei einer angelegten Spannung von 791V.

Calculated field strength in the border area of an aluminium foil with a thickness of 72 µm. The maximum value of the field strengths results to 132 kV/mm at an operating voltage of 791V.

wide results in this weak point. The aim of the work is to investigate the electrical properties at the border areas of the aluminum foil in a novel dry condenser bushing with plastic film. The border areas were filled with Silicone gel based on its refractive field control and two different silicone gel compounds based on their nonlinear field control, to optimize the electrical properties at the border area.

Cylindrical wound capacitors were developed and produced as test specimen for the investigation. The results of the investigation for a test specimen with air (reference), silicone gel and the silicone gel compounds were compared and analyzed. The first part of the investigation was the simulation of the electrical field distribution and rather the maximal field strength in the border area. The results of the simulation show that with the silicone gel and silicone gel compounds filled in the border and edge area, the maximal field intensity there can be increased compared to the reference test specimens.

DR.-ING. AMMAR SALMAN (EVS)

Titel

DATEN-ERFASSUNGSSYSTEME UND DEREN ANWENDUNG IN DER ELEKTROTECHNIK – BLINDELISTUNGS-SPANNUNGSREGELUNG ZUR OPTIMIERTEN EINBINDUNG DEZENTRALER ENERGIEERZEUGUNGSSANLAGEN IN DAS STROMVERSORGUNGSSYSTEM

Ammar Salman



Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit vergleicht unterschiedliche Arten der Blindleistungsbereitstellung durch dezentrale, erneuerbare Energiesysteme sowie ihren Nutzen bei der Netzregelung. Es werden dabei Eigenschaften von Systemkomponenten hinsichtlich eines Einsatzes in Micro-Grids untersucht. Basierend auf diesen Betrachtungen werden einige Konzepte für lokale Netzregelungen anhand von Beispielen vorgestellt. Diese haben zum Zweck, die optimale jeweils Blindleistung zum Erreichen der zulässigen Spannungstoleranzen zu berechnen.

Ein herausgearbeiteter Lösungsansatz ist der eines Cluster-Reglers. Der Cluster-Regler gewährleistet die Spannungshaltung an den Netzknoten des Teilnetzes durch die Einspeisung von Blindleistung. Die zentrale Struktur dieser Lösung ermöglicht eine Optimierung der Blindleistungseinspeisung. Der Blindleistungsbedarf ist reduziert und dies hat die eine ganze Reihe vorteilhafter Konsequenzen. Als wichtigste soll hier genannt werden, dass im Vergleich mit einer rein zentralen Netz-Reglung der Kommunikationsbedarf deutlich geringer ist. Deshalb müssen weniger Informationen und mit einer nur geringen Übertragungsrate ausgetauscht werden.

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

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

Tag der Disputation: 04. Oktober 2017

Summary

The present work compares different types of reactive power generation by decentralized, renewable energy systems and their benefits in grid control. Properties of system components with regard to use in micro-grids are considered. Based on these considerations, some concepts for local grid rules are presented using examples. These have the purpose of calculating the optimum reactive power in each case in order to achieve the permissible voltage tolerances.

One approach is that of a cluster controller. The cluster controller ensures the voltage support at the network nodes of the subnetwork by feeding in reactive power. The central structure of this solution enables an optimization of reactive power feed-in. The reactive power requirement is reduced and this has a number of beneficial consequences. The most important thing to mention here is that compared with a purely central network regulation, the need for communication is significantly lower. Therefore, less information needs to be exchanged and with only a low transmission rate.

DR.-ING. JOHANNES PRIOR (INES)

Titel

TESTVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES ELEKTRISCHEN VERHALTENS VON BATTERIESYSTEMEN IN ELEKTROFAHRZEUGEN

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

Zweitgutachter: Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. René Marklein,
Universität Kassel

Tag der Disputation: 03. November 2017



Johannes Prior

Ein Beitrag zur Entwicklung neuer Energielabels für Elektrofahrzeuge, die das Batteriesystem und die Ladetechnik berücksichtigen

Zusammenfassung

Mit dieser Dissertation wird ein Beitrag zur Entwicklung von Testverfahren für Elektrofahrzeuge geleistet. Dies geschieht durch die Entwicklung neuer Tests der spezifischen elektrischen Fahr- und Ladeeigenschaften und der Adaption konventioneller Fahrzeugtests für die Untersuchung an Elektrofahrzeugen. Die entwickelte Wechselfolge von Fahr- und Ladetests ermöglicht schnell zu testen und dabei sowohl die Reproduzierbarkeit als auch die Vergleichbarkeit der Testergebnisse zu verbessern.

Weiterführend zeigt diese Dissertation Kenngrößen auf, mit denen z.B. die Leistungsfähigkeit und Effizienz eines Elektrofahrzeugs quantifiziert und bewertet werden kann. Es werden Vergleiche der getesteten Elektrofahrzeuge angestellt, die das Ladeverhalten sowie die Energieeffizienz im Fokus haben. Für Fahrzeugnutzer sind daraus vor allem die Vergleiche zur Ladedauer und Ladeleistung relevant.

Auch für Netzbetreiber sind die gewonnenen Daten zum Ladeverhalten von Interesse, da der unkontrollierte Anschluss von vielen Elektrofahrzeugen an einem Netzstrang zu Überlastsituationen führen kann. Daher werden die gewonnenen Daten dieser Arbeit an anderer Stelle für die Betrachtung und Simulation von Fragestellungen der Netzauslastung und Netzplanung verwendet. Die Datenbasis zu den Fahrzeugeigenschaften beim gesteuerten Laden wird außerdem für Untersuchungen zur Integration von Elektrofahrzeugen in externe Last- und Energiemanagementsysteme genutzt.

Die Dissertation schließt mit einem Vorschlag, wie eine erweiterte Darstellung auf dem bekannten EU Energie Label das Ladeverhalten des betreffenden Elektrofahrzeuges verdeutlichen kann, um neue Fragestellungen der Elektromobilität bezüglich Ladeeffizienz, Blindleistungsbezug und gesteuertem Laden zu beantworten.

Summary

This dissertation contributes to the development of test methods for electric vehicles. New tests of the specific electrical driving and loading characteristics, as well as the adaptation of conventional vehicle tests are performed. In these tests driving and loading tests are alternated. This enables faster test procedures and test results which can be reproduced and compared with regard to different preconditions.

Furthermore, the parameters used for the evaluation are discussed and a suggestion is made how test results can be shown in currently used energy labels for electric vehicles. Comparisons are made mainly focusing on the charging behaviour of tested electric vehicles. Comparisons of the charging duration and charging performance are made, which are particularly relevant to the vehicle user.

In different projects simulations have shown that the simultaneous connection of many electric vehicles to a power line can lead to overload situations. Obtained data from this dissertation is used to simulate theoretical questions of grid utilization and grid planning, considering big amounts of electric vehicles. Also the integration of electric vehicles into external load and energy management systems is investigated.

Finally, conclusions are drawn on the future developments of test regulations and the question how the developed test procedures can help. The relevance of tests regarding the controlled charging behavior and its importance for the operation of electrical grids with a high proportion of electric vehicles and renewable energy generation systems is discussed.

DR.-ING. DOMINIK SCHLEDDÉ (INES)

Titel

MODELLBASIERTE IDENTIFIKATION VON PHYSIKALISCHEN PARAMETERN ZUR BESTIMMUNG DER VERÄNDERUNG CHARAKTERISTISCHER EIGENSCHAFTEN EINER C/NMC LITHIUM-IONEN-ZELLE DURCH ALTERUNGSMECHANISMEN ZUR ANWENDUNG IN BATTERIEMANAGEMENTSYSTEMEN

Dominik Schledde



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

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler
Hochschule Offenburg

Tag der Disputation: 01. Dezember 2017

Zusammenfassung

Der anthropogene Klimawandel und das Pariser Klimaabkommen bilden die neuen Randbedingungen für die zukünftige Energieversorgung. Die Substitution der fossilen Energien durch die Integration Erneuerbarer Energien in die Versorgungsstrukturen sowie die Einführung der Elektromobilität im Verkehrssektor sind vielversprechende Lösungsansätze. Der Speicherung von Energie kommt in beiden Fällen eine Schlüsselrolle zu. Lithium-Ionen-Batterien bieten sich auf Grund ihrer hohen Energie- und Leistungsdichte sowie langer Lebensdauer und stetig fallender Preise für viele Applikationen an. Jedoch unterliegen die Lithium-Ionen-Batterien einer kontinuierlichen Alterung, welche die Zuverlässigkeit der Anwendungen über die Betriebsdauer reduziert. Das Wissen um den Alterungszustand der Batterien ist somit eine wichtige Voraussetzung zum effizienten Einsatz solcher elektrochemisch-physischen Speicher. In dieser Arbeit wird anhand einer Kohlenstoff (C)/Nickel-Mangan-Cobalt (NMC) Lithium-Ionen-Batterie gezeigt, dass der Alterungszustand der Zelle mit Hilfe von Parametern eines elektrochemisch-physischen Modells identifizierbar ist. Hierfür wurden Zellen dieses Typs in verschiedenen Messreihen und Analysen untersucht. Die signifikantesten Alterungsmechanismen dieser Zelle wurden durch verschiedene Alterungstests an Halb- und Vollzellen untersucht, und die Auswirkungen auf ausgewählte Bereiche der Zelle bestimmt. Es zeigte sich, dass die Veränderungen durch Alterungsmechanismen insbesondere an der Anode auftraten. Der Variationsbereich der zugeordneten Parameter wurde durch eine Post-Mortem-Analyse festgelegt. Für die Identifizierung wurde ein auf den Publikationen von John Newman basierendes Batteriemodell, das die elektrochemischen Prozesse einer Lithium-Ionen-Batterie beschreibt, verwendet. Dieses Modell wurde anhand einer umfangreichen Materialcharakterisierung und weiterer Messungen im Zeit- und Frequenzbereich auf die betrachtete Zelle parametrisiert. Die Sensitivität des Modells in Bezug auf die alterungsrelevanten Parameter wurde bestätigt. Schließlich konnte durch die Verwendung von hybriden Optimierungsalgorithmen und eines anwendungsbezogenen Identifikationsprofils die Veränderung der physikalischen Parameter bestimmt werden. Nur

durch die Verwendung des Identifikationsprofils, welches dem Stromprofil eines Elektrofahrzeugs nachempfunden ist, ließ sich der Gesundheitszustand der Batterie in dem Untersuchungsbereich mit einer mittleren quadratischen Abweichung von 2,07 % bestimmten.

Summary

Man-made climate change and the Paris Agreement build the framework of future energy supply. The substitution of fossil fuels in the field of electricity supply and transportation through the use and integration of renewable energy sources and electric vehicles is a promising approach. In both cases, energy storages have a major stake in this transformation process. Due to their high energy and power density and continuously falling prices, lithium-ion batteries have proven their predominance in many applications. Like every other electrochemical storage, lithium-ion batteries suffer from degradation processes. Hence, the reliability of battery powered applications is reduced over operation time. Consequently, the knowledge about the state of the battery is an important part when it comes to efficient utilisation of energy storage systems or electric vehicles. This work shows that the degree of aging can be identified with the help of an electrochemical battery model, regarding a specific battery type. For this purpose, an extensive characterisation of a C/NMC lithium-ion-cell was carried out. The most significant aging mechanisms of this cell were investigated by half- and full-cell measurements, and were linked to the physical areas of the cell. The variation ranges of the dedicated parameters were determined by a post mortem analysis. An electrochemical battery model based on the findings of John Newman was used for the identification process. The parameters of this model were gained by the characterisation of the cell material and additional measurements in frequency and time domain. A sensitivity analysis was carried out to confirm the effectiveness of the aging-relevant parameter. Finally, the changes of the physical parameters were identified by a hybrid optimisation algorithm. Solely by using an application orientated stimulation signal, based on a current profile of an electric vehicle, the state of health was determined with a standard deviation of 2,07 %.

DR.-ING. CHRISTIAN FELGEMACHER (EVS)

title

INVESTIGATION OF RELIABILITY ASPECTS OF POWER SEMICONDUCTORS IN PHOTOVOLTAIC CENTRAL INVERTERS FOR SUNBELT REGIONS

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

Zweitgutachter: Prof. Dr. N. Liserre

Tag der Disputation: 30. Januar 2018



Christian Felgemacher

Zusammenfassung

Eine hohe Zuverlässigkeit sowie eine Lebensdauer im Bereich von 30 Jahren sind essenziell für erneuerbare Energiesysteme, wie z. B. Photovoltaik-Kraftwerke, um die Kosten der erzeugten Energie zu minimieren. Zugleich werden solche Systeme in Regionen betrieben, die eine hohe Sonneneinstrahlung und weitere harsche Umweltbedingungen aufweisen. Aus diesem Grund muss das Design von Photovoltaik-Wechselrichtern nicht nur den Schlüsselkriterien bzgl. einer hohen Effizienz entsprechen, sondern auch eine hohe Robustheit aufweisen und dabei trotzdem die herausfordernden Kostenziele erfüllen.

In dieser Dissertation wurden verschiedene Aspekte bzgl. Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Zentralwechselrichtern untersucht. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Messung der spannungsabhängigen Ausfallrate durch Single-Event-Burnouts von SiC- und Si-Leistungshalbleitern aufgrund von kosmischer Strahlung. Als zweites Kernthema wird die Entwicklung einer Systemlevel-Simulation behandelt, um die Beanspruchung der Leistungshalbleiter in PV-Zentralwechselrichtern in verschiedenen Regionen der Welt quantifizieren zu können. Weitere Themen sind Untersuchungen zu verbesserten Regelungskonzepten für das Kühlssystem von PV-Zentralwechselrichtern sowie die Temperaturüberwachung von IGBTs während des Betriebs des Wechselrichters.

Summary

High reliability and system lifetimes in the range of 30 years are essential for renewable energy systems such as photovoltaic power plants to minimise costs for the generated electric energy. At the same time such systems are used in regions with high solar irradiance and also harsh environmental conditions. Therefore, designs for photovoltaic inverters need to meet not only the key design criteria of high conversion efficiency but also need to be very robust and at the same time meet challenging cost targets.

In this dissertation aspects concerning the lifetime and reliability of power semiconductors in photovoltaic central inverters are investigated. On key topic of the dissertation is the measurement of the voltage dependent failure rate due to cosmic radiation induced single-event-burnout of SiC and Si power semiconductors. The second topic is the development of a system level simulation to quantify the stress on the power semiconductors in a PV central inverters in various regions of the world. Further topics are the investigation of improved control concepts for the cooling system of PV central inverters and the monitoring of IGBT temperatures during converter operation.

MODELLING AND EXPERIMENTAL TESTING OF AN INNOVATIVE SABATIER REACTOR FOR A POWER-TO-GAS PLANT

Miguel Fernando López Garcia



Zusammenfassung

Wissenschaftler haben bewiesen, dass der Klimawandel, der seit der industriellen Revolution nachweisbar ist, durch anthropogene Aktionen verursacht wurde. Entscheidende Maßnahmen sind erforderlich, z. B. ein Übergang von konventionellen Energiesystemen zu erneuerbaren Energiesystemen, um die Auswirkungen auf die Menschheit und den Planeten zu mildern. Deutschland ist eines der weltweit führenden Länder, die erneuerbare Energien unterstützen und darin investieren. Politik, Industrie und Wissenschaft sehen voraus, dass ein Ausbau zu einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbaren Energiequellen ohne einen Ausbau der Energiespeichertechnologien technisch und wirtschaftlich nicht erzielbar ist. Für Energiesysteme mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energiequellen wird die Entstehung von saisonalen Stromüberschüssen im Bereich TWh erwartet. Somit werden langfristige Speichertechnologien eine große Rolle spielen, da die Erzeugung und der Verbrauch zeitlich und räumlich ausgeglichen werden müssen. Power-to-Gas (PtG) Anlagen sind ein Beispiel von langfristigen Speichern. PtG Anlagen wandeln Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energiequellen in gasförmige Energieträger um, z.B. Wasserstoff und Methan. Die Methanisierung ist eine wichtige Komponente der Anlage. Die findet in einem katalytischen Reaktor statt, dessen Betriebstemperatur und Betriebsregelung von Bedeutung sind, um den Wirkungsgrad des Prozesses zu halten. Mikrokanal-Reaktoren stellen ein interessantes Reaktorkonzept dar. Dieses Reaktorkonzept verspricht gute Wärme- und Stoffübergangseigenschaften.

Der Rahmen dieser Dissertation umfasst die Entwicklung eines mathematischen Reaktormodells in Matlab-Simulink, um die Konzentration von Methan im Produktgas in Abhängigkeit von unterschiedlichen Betriebsbedingungen einzuschätzen. Eine PtG-Anlage wurde am Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IIE) aufgebaut, in der das Reaktormodell validiert wurde und die Werte der Aktivierungsenergie (E_a), des Arrhenius-Koeffizienten (A) und des empirischen Koeffizienten (n) experimentell ermittelt wurden. Ein Vergleich zwischen den Modell- und Messdaten wird dargestellt. Schließlich werden Schlussfolgerungen gezogen und Handlungsempfehlungen für zukünftige Projekte beschrieben.

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

Zweitgutachter: Prof. Dr. Gunther Kolb,
TU Eindhoven

Tag der Disputation: 16. Februar 2018

Summary

The scientific community has proven that anthropogenic actions have contributed to the global warming which has been experienced since the industrial revolution times. Essential actions such as the transition of the current energy system based on conventional fossil fuels to a system based on renewable sources by 100% are required in order to mitigate the impacts on the population and the planet itself. Germany is one of the leading countries in the world which support and invest in renewable energies. Governmental institutions, the industry sector, and scientific experts have foreseen that the expansion towards a 100% renewable energy system is not achievable without an appropriate expansion of energy storage technologies. In energy systems with high penetration of renewable energies, it is expected that seasonal electricity surpluses arise, which means that long-term energy storage technologies are going to play an important role in balancing the demand and the generation side. Power-to-Gas (PtG) plants are classified as a type of long-term energy storage technologies. PtG plants store electricity surpluses from renewable energy sources, most-likely wind and PV farms, by producing gaseous energy carriers such as hydrogen or methane. An essential component of the plant consists of a catalytic reactor, for which operation and temperature control are crucial in terms of its efficiency. Micro-channel reactors represent an attractive concept due to their great heat and mass transfer properties.

The scope of this doctoral thesis comprises the development of a mathematical model in Matlab-Simulink which estimates the CH₄-concentration in the reactor product gas and its dependency on different operating points. Experimental tests were carried out in a lab-scale PtG plant which was built at Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IIE) in order to validate the model results and to determine the values of the activation energy (E_a), the pre-exponential Arrhenius factor (A) and the empirical coefficient (n). A comparison between the estimated and measured results is presented and discussed. Finally, conclusions are drawn and perspectives and recommendations for future projects are presented.

DR.-ING. RON BRANDL (INES)

Titel

ENTWICKLUNG EINER POWER HARDWARE-IN-THE-LOOP-FÄHIGEN ECHTZEIT-VALIDIERUNGSUMGEBUNG ZUR STABILITÄTSUNTERSUCHUNG VON ELEKTRISCHEN NETZEN

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

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel,
TU Braunschweig

Tag der Disputation: 16. März 2018



Ron Brandl

Zusammenfassung

Hardware-in-the-Loop Methoden bieten die Möglichkeit, verschiedene Domänen und Akteure des Energieversorgungssystems miteinander zu kombinieren, um das komplexer werdende Energieversorgungssystem für künftige Problemstellungen zu rüsten.

Diese Forschungsarbeit beinhaltet die Untersuchung und den Aufbau von Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) Systemen, bestehend aus echtzeitfähigen Simulationen elektrischer Energieversorgungsnetze in Kombination mit leistungsführenden Anlagen. Hauptmotiv der Arbeit ist die Entwicklung eines neuartigen Validierungs- und Prüfkonzepts, um Studien, basierend auf Netzsimulationen, mit hardwaretechnischen Prüfanlagen zu verbinden. Dadurch kann ein breites Spektrum an aktuellen und künftigen Szenarien des Energieversorgungssystems erforscht und dessen Komponenten können geprüft werden.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird eine echtzeitfähige Laborinfrastruktur entwickelt und realisiert. Diese Infrastruktur dient der Stabilitätsuntersuchung elektrischer Netze, wie zum Beispiel detaillierter Verteil- und/oder Übertragungsnetze bis hin zu ausgedehnten Verbundnetzen. Insbesondere die sichere, exakte und stabile Koordination eines physikalisch-virtuell gekoppelten Systems, das Informationen zwischen unterschiedlichen Domänen (virtueller/physikalischer Domäne) austauscht, ist Teil der Forschung. Hieraus entstehen Anforderungen an eine verlässliche Schnittstelle, die sowohl Sicherheit als auch Genauigkeit des PHIL-Systems behandelt.

Summary

Hardware-in-the-loop methods offer the possibility to combine different domains and actors of an energy system to prepare the complex energy system for prospective problems.

This research involves the study and construction of Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) systems, consisting of real-time simulations of electric energy networks in combination with physical power components. The main research objective is the development of a novel validation and testing concept that combines studies based on network simulations with physical power system components. As a result, an expanded spectrum of current and prospective scenarios of the energy system can be studied, and system components can be investigated.

Within this thesis, a real-time laboratory infrastructure is designed and constructed. This infrastructure serves to test the stability of electrical power systems, such as integrated distribution networks and/or transmission networks and up to holistic international, interconnected systems. Particularly the harmonization of a physical-virtual coupled system which exchanges information between different domains (virtual/physical domains) is part of this study. Thereby, requirements for a reliable interface arise which addresses both, the security and the accuracy of the PHIL-system.

Leon Thurner



Zusammenfassung

Diese Arbeit stellt eine Methodik zur Automatisierung des strategischen Netzplanungsprozesses in der Mittelspannungsebene vor. Die Methodik berücksichtigt die prognostizierte Entwicklung von Last und dezentraler Erzeugung sowie die Altersstruktur des Netzes. Zielnetze werden unter Berücksichtigung von Randbedingungen für die Netztopologie, für Lastflussparameter im Normal- und (n-1)-Betrieb, für Fehlerströme sowie Versorgungszuverlässigkeit berechnet. Alle Implementierungen in dieser Arbeit basieren auf dem Open Source Netzberechnungsprogramm pandapower, welches auch zum Teil im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde.

Die entwickelte Methodik wird auf drei reale Fallstudien von verschiedenen Netzbetreibern angewendet. Die Optimierung der Netzstruktur führt in den betrachteten Netzen im Planungshorizont zu einer Reduktion der Investitions- und Betriebskosten von bis zu 56% im Vergleich zu den heutigen Netzstrukturen. Die erfolgreiche Durchführung der unterschiedlichen Fallstudien zeigt die Anwendbarkeit der entwickelten Methodik auf realistische Planungsprobleme.

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

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Markus Zdrallek,
Bergische Universität Wuppertal

Tag der Disputation: 23. März 2018

Summary

This thesis introduces a comprehensive methodology for the automation of the strategic power system planning process in the medium voltage level. The methodology takes the predicted development of load and distributed generation as well as the age structure of the components into account. Target grid structures are computed with a heuristic search that considers constraints for the grid topology, power flow parameters in normal as well as contingency operation, fault currents and service reliability. The implementation is based on the newly presented open source power systems analysis tool pandapower, which allows grid modelling and analysis with a high degree of automation.

The developed methodology is applied to three real case study grids from different power system operators. The structural optimization leads to a reduction of investment and operational costs within the planning horizon of up to 56% in the target grids compared to the present grid structures. The successful application of the developed method to a diverse set of case studies demonstrates its general applicability in realistic planning problems.

DR.-ING. ARTJOM GRUBER (EVS)

Titel

**VERGLEICH VON HALBLEITERTECHNOLOGIEN UND SCHALTUNGSTOPOLOGIEN ZUR
REALISIERUNG VON WECHSELRICHTERN FÜR DEN EINSATZ IN PHOTOVOLTAIKSYSTEMEN
MIT 1500V SYSTEMSPANNUNG**

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

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens,
Leibniz Universität Hannover

Tag der Disputation: 18. Mai 2018



Artjom Gruber

Zusammenfassung

Der weltweite Photovoltaik-Zubau nimmt stetig zu. Dieses Wachstum ist zugleich Ursache und Folge einer anhaltenden starken Verringerung der Kosten der in Photovoltaik-Systemen verwendeten Komponenten. Vor diesem Hintergrund adressiert die vorliegende Arbeit aktuelle Entwicklungen bei Wechselrichtern für Photovoltaik-Großkraftwerke. Im Fokus steht eine Anwendung mit 1500 V maximaler Gleichspannung und Wechselrichtern mit 100 kW Nennleistung. Den Ausgangspunkt bildet eine Analyse der aus der Anwendung resultierenden Anforderungen an den Wechselrichter. Basierend darauf wird der Frage nachgegangen, wie die Leistungselektronik des Wechselrichters unter ökonomischen Gesichtspunkten optimal ausgelegt werden kann. Bei dieser Betrachtung wird neben Anforderungen bezüglich Wirkungsgrad, leitungsgebundener Störaussendung und Lebensdauer eine Vielzahl an Freiheitsgraden wie Schaltungstopologie, Technologie und Auslegung der Leistungshalbleiter sowie Schaltfrequenz und Auslegung des Ausgangsfilters berücksichtigt. Die entwickelten Modelle werden schließlich anhand von Messungen des Wirkungsgrades und der leitungsgebundenen Störaussendung eines Wechselrichter-demonstrators mit SiC-MOSFETs und einer Schaltfrequenz zwischen 36 bis 42 kHz validiert.

Summary

Worldwide photovoltaic expansion is steadily increasing. This growth is at the same time the cause and consequence of a continuing strong reduction in the costs of the components used in photovoltaic systems. Against this background, the present work addresses current developments in inverters for large photovoltaic power plants. The focus is on an application with 1500 V maximum DC voltage and inverters with 100 kW nominal power. The starting point is an analysis of the requirements of the inverter resulting from the application. Based on this, the question will be investigated as to how the power electronics of the inverter can be optimally designed from an economic point of view. In addition to requirements with regard to efficiency, conducted interference emission and service life, a large number of degrees of freedom such as circuit topology, power semiconductor design and design as well as switching frequency and design of the output filter are taken into consideration. The developed models are finally based on measurements of the efficiency and the conducted interference emission of an inverter demonstrator SiC MOSFETs and a switching frequency between 36 to 42 kHz validated.

DR.-ING. CONG SHEN (e²n)

titel

BOTTOM-UP NETWORK RESTORATION BASED ON DISTRIBUTED GENERATION

Cong Shen



Zusammenfassung

Der Wiederaufbau großer elektrischer Stromnetze nach einem Blackout ist eine herausfordernde Aufgabe. Nach einem Blackout könnte ein aktives Verteilnetz durch die Verwendung von dezentralen Anlagen sofort neu starten, anstatt darauf zu warten, dass das Übertragungsnetz wiederhergestellt wird.

In dieser Dissertation wird der potenzielle Nutzen dezentraler Erzeugung in Verteilnetzen für den Netzwiederaufbau untersucht. Zunächst werden in der Arbeit neue Algorithmen für den Wiederaufbau präsentiert. Zusätzlich werden neue Bottom-Up Wiederherstellungsalgorithmen vorgeschlagen, die den Netzwiederaufbau beschleunigen, indem Wiederaufbaumaßnahmen parallel in Übertragungs- und Verteilnetz vorgenommen werden.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Bottom-Up-Algorithmen bestehen aus vier Teilen. Der erste Teil bestimmt die Schwarzstart-Zone nach einem Blackout. Der zweite und dritte Algorithmus werden verwendet, um Wiederaufbauzeit und Lastwiederherstellung für jede Schwarzstart-Zone zu berechnen. Im vierten Teil wird der entwickelte Bottom-Up-Ansatz in einem echten Übertragungs- und Verteilnetz in der JiangXi-Provinz in China implementiert. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass der Bottom-Up Netzwiederaufbau mit dezentraler Erzeugung schneller und zuverlässiger ist als herkömmliche Netzwiederaufbau-Verfahren.

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

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

Tag der Disputation: 23. Mai 2018

Summary

The restoration of large electrical power systems after a blackout is often a challenging task. After power system blackout, an active distribution network could reboot immediately by using Distributed Generation (DG) units instead of waiting until the transmission network has been restored.

In this thesis, the potential benefit of DG units in distribution networks for the power system restoration is investigated. This thesis firstly presents novel algorithms for the restoration operations. In addition, novel bottom-up restoration algorithms are proposed, which accelerate the power system restoration process by conducting the restoration operations in transmission and distribution network in parallel.

In this thesis, the proposed bottom-up restoration algorithms consist of four parts. The first part is to determine the black start zone after power system blackout. The second and third algorithm, which determine the generator start-up and load restoration sequence, are used to calculate the restoration time and restorable load within each black start zone. In the fourth part, the proposed bottom-up restoration algorithms are implemented on a real transmission and distribution network in JiangXi province, China. The results of this thesis demonstrate that the proposed bottom-up network restoration methodology by using distributed generations is faster and more reliable than the traditional network restoration methodology.

DR.-ING. MARTIN KOPP (INES)

Titel

STROMMARKTSEITIGE OPTIMIERUNG DES BETRIEBS EINER PEM-ELEKTROLYSEANLAGE

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

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Birgit Scheppat,
Hochschule RheinMain

Tag der Disputation: 28. Juni 2018



Martin Kopp

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Fragestellung untersucht, wie der Betrieb einer frühen Generation von Power-to-Gas (PtG)-Anlagen mit Proton-Exchange-Membranen (PEM) als Elektrolyten so gestaltet werden kann, dass eine möglichst wirtschaftliche Betriebsweise erreicht wird. Hierfür wird analysiert, wie die technologiebedingten Vorteile einer PEM-Elektrolyseanlage in Form schneller Laständerungen und eines flexiblen Anlageneinsatzes für eine Reduktion der Stromkosten eingesetzt werden können. Als Referenzanlage dient die 6 MW PEM-Elektrolyseanlage des Projekts „Energiepark Mainz“. Zur Untersuchung der Fragestellung wird ein Modell für die Optimierung der Strombeschaffung von PtG-Anlagen über die verschiedenen deutschen Strommärkte entwickelt. Die Optimierung erfolgt auf Basis von Eingangsdaten wie Strompreisprognosen, simulierten Regelleistungsbedarfen, ökonomischen Daten wie Wasserstoffpreisen sowie den technischen Restriktionen der Referenzanlage. Basierend auf den Eingangsdaten werden zunächst die erwarteten Regelleistungsabrufe prognostiziert und anschließend die optimale Strombeschaffung für bis zu sieben Tage im Voraus berechnet.

Ein wesentliches Ergebnis sind die berechneten Wasserstoffgestehungskosten für verschiedene Szenarien des Wasserstoffabsatzes und unterschiedliche Strombeschaffungsvarianten. Es wird aufgezeigt, wie durch eine optimierte Strombeschaffung die Stromkosten signifikant reduziert werden können. Anhand einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss verschiedener Konfigurationen der PtG-Anlage auf die Stromkosten untersucht.

Die Diskussion der Wettbewerbsfähigkeit von PtG-Anlagen gegenüber Erdgasreformieranlagen und zu einem möglichen Markthochlauf komplettiert diese Arbeit neben der Betrachtung der Windkraft-Wasserstoff-Kopplung in einer Post-EEG-Phase.

Summary

This work presents a model for the daily optimisation of power purchase for a Power-to-Gas (PtG) plant at different electricity markets in Germany. The model is developed according to the operational data of the PtG-project "Energiepark Mainz" with a 6 MW PEM electrolysis system. For the optimisation model different input data like forecasts for electricity prices and the amount of required control energy, economic parameters like hydrogen prices, and technical restrictions like the efficiency curve of the plant are used. Based on the input data, the model simulates the forecast of the control reserve energy and calculates the optimised strategy of power purchase for up to seven days in advance. The model takes the restrictions concerning the forecasted hydrogen demand into account and calculates the best strategy for the electricity procurement.

As an essential outcome of this work, the hydrogen production costs for different scenarios concerning the hydrogen demand and different power procurement options are calculated. It is described how the production costs can be reduced by the daily optimisation of power purchase at the different electricity and control reserve markets. Furthermore, a sensitivity analysis evaluates the influence of individual components and different plant parameters on the hydrogen production costs. The analysis of the utilisation of non-subsidised wind power for the hydrogen production shows a symbiotic potential for the PtG plant and the wind farm.

The discussion of the competitiveness of PtG-plants in comparison with natural gas steam reforming facilities completes this work. It is shown, that due to the optimisation of the power purchase, the competitiveness of PtG plants could be improved.

DR.-ING. ELISABETH DRAYER (e²n)

titel

RESILIENT OPERATION OF DISTRIBUTION GRIDS WITH DISTRIBUTED-HIERARCHICAL ARCHITECTURE

Elisabeth Drayer



Zusammenfassung

Diese Dissertation beschäftigt sich mit dem Design und der Implementierung einer resilienten Netzbetriebsführung für das Verteilnetz. Die Motivation dafür ist ein Fortschreiten der Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung im ganzen Energiesektor, besonders aber im Verteilnetz. Diese Veränderungen transformieren das bisher passive Verteilnetz in ein System das eine aktive Betriebsführung besitzt. Unter dem Begriff „Resilienz“ werden dabei Fähigkeiten eines Systems verstanden, mit Fehlern und Störungen umzugehen und diese zu absorbieren, sich ihnen anzupassen und sich davon zu erholen. Im Falle der hier entwickelten Netzbetriebsführung ist die Resilienz leitendes Designprinzip, einerseits bei der Wahl der Architektur, andererseits bei der Wahl der Methoden für die Betriebsführung.

Auf Architekturebene entwickelt diese Arbeit eine verteilte-hierarchische Kontrollarchitektur für die Realisierung der Betriebsführung. Für diese verteilte-hierarchische Architektur wurden Methoden entwickelt, welche die Architektur optimal ausnutzen und einen vollautomatischen Betrieb des Verteilnetzes ermöglichen. Dazu wurde eine heuristische Optimierung entwickelt, die als vielfältiges Werkzeug genutzt wird um Probleme wie Spannungsbandverletzungen oder Überlastungen zu lösen. Eine weitere wichtige Methode, besonders unter dem Blickwinkel der Resilienz, ist das Selbstheilen (engl. self-healing) des Netzes.

- Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Martin Braun,
Universität Kassel
- Zweitgutachter:** Dr. Raphaël Caire,
Grenoble Institute of Technology
- Tag der Disputation:** 29. Juni 2018

Summary

This thesis is about the design and the implementation of a resilient grid operation for the distribution grid. This research question is induced by the advancing of three trends: decarbonisation, decentralisation and digitalisation. These three trends transform the hitherto passive distribution grid into an active system that contains an active operation. The term “resilience” describes capabilities of the system to absorb, to adapt, and to recover from faults and disturbances. This concept is realised on the one hand with the choice of the operation architecture, on the other hand for the choice of possible methods and functions.

This thesis develops a distributed-hierarchical operation architecture. For this architecture several methods have been developed that optimally benefit from the operation architecture and that allow the fully automated operation of the distribution grid. For that purpose a heuristic optimisation has been developed to solve problems like voltage profile violations and congestions. Another important method, especially with regard to resilience, is the self-healing capability to resupply clients after permanent faults.

DR.-ING. JAN VON APPEN (e²n)

titel

SIZING AND OPERATION OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN COMBINATION WITH BATTERY STORAGE SYSTEMS AND HEAT PUMPS

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

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

Tag der Disputation: 21. Juli 2018



Jan von Appen

Zusammenfassung

Der florierende Business Case von Photovoltaik-Anlagen an Wohngebäuden in Kombination mit Batteriespeichersystemen und anderen Flexibilitätsoptionen wie Wärmepumpen führt zu weiteren Fragen bezüglich der Integration von Photovoltaikanlagen ins Netz und erhöht die Komplexität von Planungsprozessen für alle beteiligten Stakeholder – insbesondere für Investoren und Verteilnetzbetreiber.

In dieser Dissertation werden gemischt-ganzzahlige und bi-Level Optimierungsmodelle entwickelt, um die Zusammenhänge zwischen diesen Stakeholdern und ihrer strategischen Entscheidungsfindung zu evaluieren. Ein Fallbeispiel-basierter Ansatz ermöglicht es, die Auswirkungen verschiedene Anreize auf die Kapazität und den Betrieb von PV-Batteriespeicher-Systemen, ihre NetzinTEGRATION und ihre Komplementarität zu anderen Flexibilitätsoptionen für eine verbesserte Sektorenkopplung zu beurteilen.

Die Analyse dieser Fallbeispiele unterstreicht die Wichtigkeit der Nutzung von Multi-Stakeholder Optimierungsmodellen. Angemessene Anreize und Sektorenkopplung entschleunigen auftretende selbst-verstärkende Prozesse zwischen höheren Netzentgelten, größeren Systemgrößen und ineffizienter PV NetzinTEGRATION. Zudem helfen Spitzenkappungslimits und Leistungsentgelte dabei, einen netzunterstützenden Betrieb von Batteriespeichersystemen und anderen Flexibilitäten zu erreichen.

Summary

The thriving business case of residential photovoltaic systems in combination with battery storage systems and other flexibility options, such as heat pumps, leads to additional questions for PV network integration and increases the complexity of planning processes for all involved stakeholders – especially for investors and distribution network operators.

In this thesis mixed integer linear and bilevel optimization models are developed for evaluating the interdependencies between these stakeholders and their strategic decision making. A case study-based approach allows assessing how different incentives impact sizing and operation of PV battery storage systems, their network integration and their complementarity towards other flexibility options for improved sector coupling.

The analysis of the case studies underlines the importance of using multi-stakeholder optimization models. Appropriate incentive setting and sector coupling decelerate emerging self-reinforcing processes between higher network charges, larger system sizes and inefficient PV network integration. Furthermore, curtailment limits and peak charges help activating a network-supporting operation of battery storage systems and other flexibilities.

MAXIMIERUNG DER LEISTUNGSDICHTE VON SELBSTGEFÜHRTEN HOCHFREQUENTEN ENERGIEWANDLERN AUF BASIS ULTRASCHNELLER WIDE-BANDGAP BAUELEMENTE

[Juliane Alickovic ene Hinze](#)



Zusammenfassung

Um Kosten zu reduzieren und marktfähig bleiben zu können, geht auch in der Anwendung von selbstgeführten Energiewandlern der Trend hin zur Miniaturisierung. Vor allem kleinere Gehäuse und Kühlkörper sowie kleinere Drosseln und Filterelemente können den Materialeinsatz erheblich reduzieren und die Kosten senken. Dies führt dazu, dass bei gleichbleibender Performance die Leistungsdichte des gesamten Produktes maximiert werden muss. Durch den Einsatz von effektiveren Bauelementen kann dies erreicht werden. Zudem können beispielsweise durch höherer Taktfrequenzen Drosseln und Filterelemente kleiner dimensioniert werden.

Die aktuelle Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) stößt bei der Lösung dieser Herausforderungen jedoch an ihre Grenzen, weswegen neue Ansätze erforderlich sind. Ein neuer Ansatz in der Leistungselektronik ist die Einbettung von Bauelementen in die Leiterplatte. Im Rahmen dieser Arbeit wurde diese Technologie mit neuen Siliziumcarbid Leistungshalbleiterschaltern untersucht und mit der konventionellen diskreten AVT verglichen. Zudem wurden die Einflüsse ultraschneller Schaltvorgänge sowie von parasitären Elementen auf die Peripherie untersucht.

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

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhardt,
SMA Solar Technology AG

Tag der Disputation: 09. August 2018

Summary

In order to be able to reduce costs and remain marketable, the trend towards miniaturization is also in the use of self-commutated energy converters. Especially smaller housings and heatsinks as well as smaller chokes and filter elements can significantly reduce material usage and reduce costs. As a result, while maintaining performance, the power density of the entire product must be maximized. This can be achieved by using more effective components. In addition, chokes and filter elements can be made smaller, for example, by higher switching frequencies.

However, the current assembly and connection technology (AVT) is reaching its limits in solving these challenges, which is why new approaches are required. A new approach in power electronics is the embedding of components in the printed circuit board (PCB). In the context of this work, this technology was investigated with new silicon carbide power semiconductor switches and compared with the conventional discrete AVT. In addition, the effects of ultrafast switching as well as parasitic elements on the periphery were investigated.

DR.-ING. DIRK FETZER (e²n)

titel

DEVELOPMENT OF A MATLAB/SIMULINK FRAMEWORK FOR PHASOR-BASED POWER SYSTEM SIMULATION AND COMPONENT MODELING BASED ON STATE MACHINES

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

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Antonello Monti,
RWTH Aachen

Tag der Disputation: 21. September 2018



Dirk Fetzer

Zusammenfassung

Im ersten Teil dieser Arbeit wird ein Algorithmus vorgestellt, der spannungsabhängige Einspeisung von Wirk- und Blindleistung in den Lastfluss-Algorithmus integriert. Es wird eine Beschleunigung von bis zu einer Größenordnung gegenüber dem derzeit gängigen Verfahren, und eine verbesserte Robustheit erreicht.

Im zweiten Teil wird ein Phasor-Framework zur dynamischen Simulation von Stromnetzen vorgestellt. Die wesentliche Neuheit ist die Möglichkeit der Integration von Zustandsdiagrammen direkt in die Komponentenmodelle. Damit wird eine wesentlich schnellere Modellentwicklung ermöglicht als mit verfügbaren Tools.

Im dritten Teil werden Modelle entwickelt und in das Framework integriert. Der Schwerpunkt liegt auf einem Photovoltaik-Modell welches das dynamische P(V), Q(V) und P(f) Verhalten nach VDE 4105 im Bereich Sekunden bis Minuten abbildet.

Im vierten Teil wird das entwickelte Phasor-Framework verwendet, um das Wiederzuschaltverhalten von Photovoltaikanlagen in einem dieselbetriebenen Inselnetz in der Niederspannung zu untersuchen. Die Untersuchung zeigt, dass ein instabiles periodisches An- und Abschalten von Photovoltaikanlagen vorkommen kann.

Summary

In the first part, an algorithm was developed which incorporates voltage dependent active and reactive power injections into the Newton power flow algorithm. The internal algorithm reaches a speedup of up to one magnitude compared to the state-of-the-art method and has the advantage of an improved robustness.

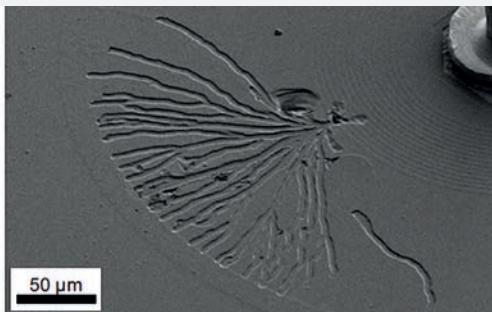
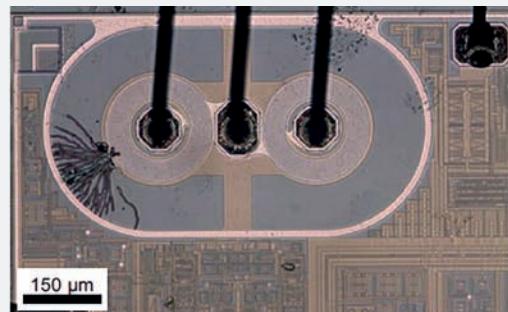
In the second part, a phasor-framework was developed which enables the dynamic simulation of electric power systems. The developed framework allows for easy integration and modification of component models and also allows for straightforward adaption of new algorithms. The phasor-framework is intended to be used in the area of research and education where this kind of flexibility is beneficial.

In the third part, models for the phasor-framework are developed. Within the photovoltaic model, the main focus lays on the representation of the dynamic P(V), Q(V) and P(f) behavior in the range of seconds up to minutes according to VDE 4105.

In the fourth part of the thesis, the phasor-framework and the developed models are used in order to investigate the stability of the reconnection behavior of photovoltaic systems in a diesel-powered low-voltage island grid. The study shows that a periodical connection and disconnection of photovoltaic systems can occur during the reconnection process.

DURCHSCHLAGMECHANISMEN VON INDUKTIVEN DATENKOPPLERN UNTER HOCHSPANNUNG

Julie Paye



Horizontaler Überschlag in einem induktiven Koppler-Prototyp, Ansicht von oben durch ein optisches Mikroskop (links) und durch ein Rasterelektronenmikroskop (rechts). | Horizontal breakdown in a coreless transformer of a prototype as seen from the top through an optical microscope (left) and scanning electron microscope (right).

Zusammenfassung

Datenkoppler mit galvanischer Isolation haben ein weites Anwendungsfeld in Industrieanwendungen zur Übertragung von Informationen durch optische, kapazitive oder induktive Übertragungen der Signale. Sie werden benutzt, um Systeme mit unterschiedlichen Betriebsspannungen zu trennen, oder um Erdschleifen und Störströme zu unterbinden. Eine andere, vielleicht noch wichtigere Funktion ist der Schutz von Personen und Betriebsmitteln vor Überspannungen, welche aus Netzstörungen stammen. Derartige Koppler müssen eine verstärkte Isolation aufweisen („reinforced isolation“).

Die Amplituden derartiger transienter Spannungen können bis zu 10kV betragen, z.B. in AC/DC Konvertern. Zu beachten ist weiterhin, daß die Isolation der Datenkoppler diese Überspannungen über die gesamte zu erwartende Lebensdauer von bis zu 20 Jahren überstehen muss. Infineon Technologies AG hat einen induktiven Koppler (coreless transformer, CT) entwickelt, der Teil eines integrierten Schaltkreises ist. In diesem Projekt wurde die Isolation des CT optimiert, damit die verstärkte Isolation die Anforderungen unter allen Umweltbedingungen erfüllt. Im Verlauf des Projektes wurden verschiedene Durchschlagmechanismen identifiziert. Die umfangreichen Analysen der diversen Durchschlagmechanismen sind für zukünftige Entwicklungen eine wertvolle Erkenntnis. Die Ergebnisse konnten bereits zu einer Erweiterung der VDE-Norm 0884-11 beitragen und sind sowohl in der Theorie als auch in der industriellen Anwendung von Bedeutung.

Summary

Data couplers are widely used in industrial equipment to transmit information through galvanic isolations using optical, capacitive or inductive signals. These couplers are often used for systems operating at different voltages, or to avoid ground loops or common mode interference. Another even more important function is the protection of users and equipment from over-voltages resulting from electrical network disturbances, requiring very robust galvanic isolation, called “reinforced isolation”.

The voltage transients caused by these disturbances can reach up to 10 kVp in user accessible conductive parts, e.g. AC/DC converters. In addition to these transients, the insulation of the data coupler has to withstand potential over-voltages over the expected lifetime of up to 20 years in application. Infineon Technologies AG developed the “coreless transformer” (CT), an inductive data coupler which is part of the integrated circuit (IC) structure of a chip. Within this project, the CT prototype was optimized to meet the requirements of reinforced isolation in a wide range of environments. Within the course of this work, several breakdown modes were identified. The comprehensive analysis of the various breakdown mechanisms will be particularly beneficial for the further development of semiconductor chips. The findings in this work have already contributed to the development of the VDE 0884-11 standard and will be of interest to a broad audience both in academia and the semiconductor industry.





DOKUMENTATION

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | EVS

2017	Name	Titel	Betreuer
Master	Düchting, Karsten	Entwicklung, Aufbau und Charakterisierung einer GaN-Wechselrichterstufe	Zacharias, SMA
Master	Feng, Weiyu	Bidirektonaler Konverter mit kapazitiver Trennung und Sparstransformator	Zacharias, Nöding
Bachelor	Fladt, Maxim	Funktionserweiterung und Untersuchung der wirtschaftlichen Aspekte eines brennstoffzellenbetriebenen e-Trikes	Zacharias, Nöding
Master	Foke II, Brice Edmond	Bestimmung der komplexen Permeanz von Wickelmaterial im magnetischen Querfeld	Zacharias
Master	Gruber, Vitali	Entwicklung, Implementierung und Test einer robusten Wechselrichterregelung für den Betrieb mit Randomized-PWM	Zacharias, Rigbers (SMA)
Master	Gühna, Tobias	Maximierung der Betriebsspannungen im PV-Generator – Systemverhalten	Zacharias, Meinhardt (SMA)
Bachelor	Hischemöller, Thorsten	Elektrostatische Entladung in Kfz-Steuergeräten	Zacharias, Hr. Meyl (VW)
Bachelor	Humme, Dominik	Aufbau, Inbetriebnahme und Regelung eines Flüssigkeitskühlungssystems zur definierten Entwärmung von Leistungshalbleitern	Zacharias, Nöding
Bachelor	Icke, Daniel	Auswertung der Schaltverluste von Silizium-, Siliziumkarbid- und Galliumnitrid-Transistoren bei weichem und hartem Schalten	Zacharias, Facanha
Master	Jabarin, Amr	Elektrostatisch gesteuerter Transformator	Zacharias
Master	Jiang, Xiao	Bestimmung parasitärer Impedanzen in EMV Filtern	Zacharias, Kleeb
Master	Knop, Tobias	Entwicklung, Aufbau und Charakterisierung einer hochintegrierten leistungselektronischen Konverterstufe	Zacharias, Nöding
Master	Krüger, Daniel	Platinenintegrierte EMV-Filter für PV-Wechselrichter	Zacharias, Kleeb
Bachelor	Küster, Pierre	Untersuchung der Verluste von steuerbaren Induktivitäten mit elektrischer Vormagnetisierung	Zacharias, Wende

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | EVS

2017	Name	Titel	Betreuer
Master	Lin, Siqi	Innovative magnetische Stromvervielfacher	Zacharias, Kleeb
Master	Loghamri, Mohamed H.	Entwicklung eines Ladewandlers für Formula Student Rennwagen	Zacharias, Nöding
Master	Präger, Dennis	Entwicklung einer bidirektionalen LCL-T-Resonanz-topologie mit galvanischer Trennung für automotive Bordnetzwandler	Oliveira
Bachelor	Spangenberg, Lisa	Wirtschaftliche Betrachtung von Blindleistungsbilanzen im Übertragungs- und Verteilnetz	Zacharias, Fenske
Master	Wiehr, Anne	Maximierung der Betriebsspannungen im PV-Generator – Hardwarelösung	Zacharias, Meinhardt (SMA)
Master	Zanina, Ihab	PV Low Cost Kleinwechselrichter	Zacharias

2018	Name	Titel	Betreuer
Master	Abravesh, Hamedreza	Untersuchung von dualen Schaltungen zu netz- und fremdgeführten Thyristorschaltungen mit Dualthyristoren	Zacharias
Bachelor	Aktas, Muhammed Bilal	Aufbau einer AX-Busversorgung für SiC-IGaN-Schaltzellen	Münch
Projektarbeit	Armbröster, René	Auslegung, Design und Aufbau eines Galvanisch-getrennten Messverstärkers	Florian Fenske
Projektarbeit	Beikirch, Jannik	Systemkonzepte zur Blindleistungskompensation für das Verteilnetz (MS/NS)	Florian Fenske
Bachelor	Berhane, Biniam Fasil	Tiefsetzsteller im interleaved Modus (2 Kanäle) mit gekoppelter Glättungsdrossel	Zacharias
Projektarbeit	Berhane, Biniam Fasil	Vergleich von Konzepten zur Hilfsstromversorgung von Wechselrichtern und Realisierung eines Beispiels	Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | EVS

2018	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	Bollbach, Markus	Untersuchung und Interpretation zum Teilentladungsverhalten von Halbleitersensorgehäusen unter impuls- und sinusförmiger Spannungsbelastung	Claudi, Zacharias
Master	Eichhorst, Dennis	Analyse des Potentials von aktiver Vormagnetisierung induktiver Bauelemente zur Optimierung von DC/DC Konvertern	Pfeiffer
Bachelor	Erenler, Yeliz	Aufbau einer Pulssstromquelle zur Vermessung eines optischen Magnetfeldsensors	Münch
Master	Faßhauer, Marc	Möglichkeiten zum Einsatz von variablen Kapazitäten zur Blindleistungskompensation	Fenske
Bachelor	Gamarra, Angelica	Entwurf und Verifizierung der Ansteuerung und Regelung für einen DC/DC-Konverter für Batteriespeichersysteme	Nöding
Master	Göbel, Kevin	Entwicklung, Simulation, Aufbau und Charakterisierung eines WR-Stacks mit SiC-Hochstrommodulen	SMA, Zacharias
Master	Icke, Daniel	Dimensionierung, Aufbau und Inbetriebnahme einer auf Wide-Bandgap-Halbleitern basierenden 1-phasigen PV-Wechselrichterstufe	Oliveira
Master	Küster, Pierre	Experimentelle Untersuchung von steuerbaren Induktivitäten mit elektrischer Vormagnetisierung	Zacharias, Claudi
Master	Li, Boer	Potential Analysis of Active Premagnetization of Inductive Components in Transformerless DC/DC Converters	Pfeiffer
Bachelor	Meers, Kevin	Untersuchung und Evaluation erweiterter Zwischenkreisoptimierungen	Nöding
Projektarbeit	Meers, Kevin	Minimierung der Zwischenkreiskapazitäten in einphasigen Wechselrichtern	Zacharias, Nöding
Master	Ohadi Esfahani, Talieh	Tiefsetzsteller mit steuerbarer Glättungsdrossel	Zacharias
Projektarbeit	Plümacher, Niklas	Messung schneller Stromänderungen in Wide-Bandgap-(WBG)-Halbleitern	Sebastian Sprunck
Bachelor	Radezki, Juri	Aufbau eines Automatisierten Prüfstandes zur Charakterisierung von Elektroblech	Fenske
Bachelor	Rode, Katharina	Auslegung und Design von magnetischen Kreisen mit Luftspalt	Fenske

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | EVS

2018	Name	Titel	Betreuer
Projektarbeit	Rode, Katharina	Blindleistungsbilanz und Spannungsregelung im Verteilnetz (NS/MS)	Zacharias, Fenske
Projektarbeit	Starostka, Jan Andre	Der duale Thyristor – Anwendung der Dualitätsregeln bei der Entwicklung von Transistorumrichtern	Oliveira
Bachelor	Stelzer, Sebastian	Aufbau einer Kompensationsanlage zur Verbesserung der Spannungsqualität	Fenske
Projektarbeit	Stelzer, Sebastian	Photovoltaikspeicher im Niederspannungsnetz	Zacharias, Energie- netz Mitte (Spengler)
Master	Tsague Guekeng, Clauvice	3-phasisches Schaltnetzteil mit interleaved arbeitenden Halbbrücken	Zacharias
Master	Will, Lukas	Untersuchen des Verhaltens von GaN-Schaltern bei negativen Gate-Ausschaltspannungen im Doppelpulstest	Sprunck
Master	Yu, Xiao	Simulative Optimierung eines dreiphasigen Serienschwingkreis-Umrichters	Oliveira

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | 

2017	Name	Titel	Betreuer
Master	Atashov, Nijat	Einfluss von Messungsgenauigkeiten und Messfehlern auf die Netzbeobachtbarkeit und Zustandsschätzung	Braun
Bachelor	Bölling, Christopher	Umsetzung eines Laboraufbaus zur Analyse des Betriebsverhaltens netzgekoppelter PV-KWK-Speicher-Systemen	Braun
Master	Flottmeier, Christin	Analyse des Einflusses der Anreizregulierungsverordnung auf Investitionsentscheidungen in der Netzplanung	Braun
Bachelor	Jähner, Christian	Analyse, Konvertierung und Parametrierung von Daten für die dynamische Simulation von elektrischen Netzen in Mat-lab/Simulink	Braun
Master	Klingmann, Alexander	Netzwiederaufbau einer Verteilnetzinsel mittels Netzersatzanlage und Durchdringung erneuerbarer Energien	Braun
Master	Kupka, Jannis	Diskriminierungsfreiheit und Wirkleistungsverlustminimierung des dynamischen Einspeisemanagements in elektrischen Verteilnetzen	Braun
Master	Nuhn, Manuel	Modellierung und Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Photovoltaikanlagen in Niederspannungsnetzen	Braun
Master	Schmoll, Philipp	Vergleich von Simulationsmodellen einer PV-Anlage in 'DlgsILENTPowerFactory' und 'MATLAB/Simulink' für dynamische Netzstudien	Braun
Master	Ulffers, Jan	Untersuchung des Einflusses von Netzstrukturvereinfachungen auf Netzausbauprognosen anhand realer Mittelspannungsnetze	Braun
Master	Wolkow, Maksim	Direkte Generationssteuerung und Powermanagement in PV-Diesel-Hybridsystemen	Braun

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | en



2018	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	Banze, Tobias	Untersuchung der VDE-Regelungskaskade am Beispiel eines Hoch- und Mittelspannungsnetzes, bei Ermittlung des optimierten Flexibilitätspotentials heute und für den prognostizierten Wind- und PV-Ausbau im Jahr 2030	Braun
Projektarbeit	Banze, Tobias	Nutzbarmachung öffentlich zugänglicher Verteilnetzdaten für das open-source Netzberechnungsprogramm pandapower am Beispiel des ATLANTIDE- und REDS-Projekt	Braun
Master	Bölling, Christopher	Entwicklung und Anwendung effizienter Methoden im Kontext der zeitreihenbasierten Netzausbauplanung	Braun
Master	Dipp, Marcel	Validierung von Methoden zur Abschätzung des Verteilnetzausbaubedarfs mittels Clusteranalyse	Braun
Master	Dollichon, Julian	Heuristische Topologie- und Strukturoptimierung im städtischen Verteilnetz	Braun
Master	Fieseler, Tobias	Automatisierte Sicherungsdimensionierung von Niederspannungsnetzen im Sincal-Datenmodell	Braun
Master	Fischbach, Kai-Philipp	Development, Implementation and Comparison of EMT and RMS Voltage Source Inverter Models for Micro Grid Applications	Braun
Projektarbeit	Galletta Solano, Daniel	Modelling and implementation of a hydro power plant for black start studies	Braun
Master	Leverkus, Nico	Entwicklung einer Methodik zur Abschätzung kumulierter Einspeisezeitreihen eines Verteilnetzgebietes	Braun
Master	Lu, Zhangshun	Implementation of an Unsymmetrical Short Circuit Current Calculation and the Application in the Planning of Compensated Medium Voltage Grids	Braun
Bachelor	Möller, Christoph	Konzeptentwicklung zur Digitalisierung von Energiezählern im industriellen Umfeld	Braun
Master	Scharf, Martin	Untersuchung der Auswirkung von Speicherbetriebsführungen auf die Netzauslastung von Verteilungsnetzen unter Anwendung von zeitreihenbasierten Lastflusssimulationen	Braun
Master	Spickhoff, Florian	Modellprädiktive Temperaturregelung eines Kalorimeters	Braun
Bachelor	Wiemer, Jan	Spitzenkappung in Planung und Betriebsführung elektrischer Mittelspannungsnetze	Braun

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | ANX

2017	Name	Titel	Betreuer
Projektarbeit	Alsdorf, Kai	DC-Untersuchung des Silikongels „POWERSIL®GEL C 670“ mit dem Additiv „Iriotec® 7550“	Wels
Bachelor	Bach, Henning Peter	Weiterentwicklung einer Hochspannungsprüf-anlage zur Isolationsprüfung von Schraubendrehern	Claudi, Zacharias
Bachelor	Bauernschmitt, Timo	Untersuchung der elektrischen Eigenschaften neuartiger nichtlinearer Füllstoffe unter Einfluss verschiedener Feuchtigkeiten	Claudi, Zacharias
Master	Beikirch, Niclas	Entwicklung, Aufbau und Validierung eines Prüfkörperdrehgestells zur automatisierten Durchführung von elektrischen Untersuchungen unter Hochspannung	Claudi, Zacharias
Master	Dai, Yuting	Messung dielektrischer Eigenschaften von Modell durchführungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten.	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Elawure, Emmanuel	Untersuchung von Verlustfaktor und relativer Permittivität von Polybutylenterephthalat in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchtigkeit	Wels
Projektarbeit	Jäger, Sebastian	Ableitstrommessung bei Hochspannungsprüfungen	Raulf
Bachelor	Jäger, Sebastian	Modernisierung einer Hochspannungsanlage und Entwicklung einer multifunktionalen Testsoftware	Claudi, Lehmann
Projektarbeit	Jähner, Christian	Aufbau eines Prüfstandes zur Untersuchung von GNSS-Komponenten unter dem Einfluss elektrischer Felder	Brockhaus
Master	Poor, Kaveh Najat	Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften von Polybutylenterephthalat (PBT) in Abhängigkeit des thermischen Alterungsverhaltens	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Quanz, Alexander	Evaluation von Integriertschaltungen zur Rekonstruktion von Stoßströmen	Jörres
Projektarbeit	Radezki, Juri	GNSS-Empfang unter HV-Freileitungen	Brockhaus
Projektarbeit	Rehwald, Florian	Untersuchung eines Software Defined Radio (SDR) auf den möglichen Einsatz als Breitbandempfänger zur Detektion von elektromagnetischen Funkstörungen in Matlab	Raulf
Master	Reinhard, Michael	Planung und Inbetriebnahme eines Brennstoffzellenlaborteststandes für die studentische Ausbildung	Claudi, Nöding
Projektarbeit	Röcher, Juliane	Untersuchung von Verlustfaktor und relativer Permittivität von Polyurethan Gelen in Abhängigkeit von der Frequenz, Temperatur und relativen Feuchtigkeit	Raulf

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | ~~ANX~~

2017	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	Schäffer, Christian	Aufbau, Ansteuerung und Inbetriebnahme eines hochfrequenten 50kV Push-Pull Schalters mit Anstiegszeiten im ns-Bereich	Claudi, Nöding
Projektarbeit	Schäffer, Christian	Entwicklung eines 15KV Impulsgenerators mit Anstiegszeiten im Nanosekundenbereich	Wels
Master	Schulze, Felix	Design, Simulation und Prüfung einer Verbindungsmuffe für Hochspannungskabel unter Verwendung von feldsteuerndem, nichtlinearem Silikongel	Claudi, Zacharias
Master	Theimer, Frank Florian	Entwicklung, Aufbau und Validierung eines computergestützten Messstandes zur Aufnahme von Leckstromkennlinien	Claudi, Zacharias

2018	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	Alsdorf, Kai Alexander	Entwicklung einer Ansteuerelektronik für einen IGBT zur Triggerung einer Funkenstrecke als Überspannungsschutzgerät	Claudi, Zacharias
Bachelor	Beikirch, Jannik	Untersuchung zur elektrolytischen Korrosion bei Polybutylenterephthalat unter hohen Feldstärken und kritischen Umgebungsbedingungen	Claudi, Zacharias
Master	Blum, Sascha	Evaluierung und Optimierung von Software-Defined Radios mit Antennen zur Detektion von elektromagnetischen Korona-Emissionen sowie Funkenentladungen	Claudi, Bangert
Projektarbeit	Boeckhorst, Niels	Charakterisierung des Auflösungsvermögens einer UV-Kamera zur Korona-Detektion in Bezug auf verschiedene Arbeitsabstände	Raulf
Bachelor	Bollbach, Markus	Untersuchung und Interpretation zum Teilentladungsverhalten von Halbleitersensorgehäusen unter impuls- und sinusförmiger Spannungsbelastung	Claudi, Zacharias
Master	Dudovcov, Mihail	Alterungsdiagnostik an SiC-Überspannungsableitern und MOV-Überspannungsableitern aus 110 kV-Umspannwerken	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Gamarra, Angelica	Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften von PU-Gelen für die Anwendung in Kabelmuffen	Raulf
Master	Heere, Steffen	Charakterisierung einer CCD-Kamera hinsichtlich der Erkennung von Korona-Entladungen	Claudi, Hillmer
Bachelor	Heidenreich, Maurice	Untersuchung der Blitzstromaufteilung unter Betrachtung der verschiedenen Erdungsparameter in Niederspannungssystemen	Claudi, Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | ANT

2018	Name	Titel	Betreuer
Master	Heinsohn, Sebastian	Untersuchung der elektrischen Festigkeit ausgewählter PBT-Materialien unter dem Einfluss unterschiedlicher Umgebungsbedingungen	Claudi, Zacharias
Bachelor	Jüttner, André	Entwurf eines 3D-druckbaren Modells einer Mittespannungs-Verbindungsmuffe auf Basis von Silikongel zur Feldsteuerung	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Jüttner, Andreas	Untersuchung der Fehleranfälligkeit von Verbindungsmaßen für Mittespannungskabel	Wels
Master	Kallmeyer, Matthias	Experimentelle Untersuchung des Einflusses von Mikrohohlkugeln auf die Sedimentation von Additivpartikeln während des Vernetzungsprozesses von Silikongel-Compounds	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Kenne, Henri Oscar und Dasi, Don Radrik Kuate	Konditionierung von verschiedenen Kunststoffen	Wels
Projektarbeit	Knapp, Florian	Planung eines Versuchsstandes zur Bestimmung des spezifischen Widerstands von hochpolymeren Isolierstoffen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen	Wels
Bachelor	Knapp, Florian	Experimentelle Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften sowie des spezifischen Widerstandes von Polybutylenterephthalat unter Einfluss unterschiedlicher klimatischer Bedingungen	Claudi, Zacharias
Master	Kraft, Maurice	Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von feldsteuernden Isolierstoffen mit nichtlinearer Strom-Spannungs-Charakteristik	Claudi, Zacharias
Master	Linne, Patrick	Entwicklung und Validierung einer Verbindungsmaße für Mittespannungskabel unter Verwendung eines mit Mikrohohlkugeln gefüllten, feldsteuernden Silikongel-Compounds	Claudi, Zacharias
Master	Loghmari, Mohamed Hichem	Untersuchung und Analyse der elektrischen Durchschlagsfestigkeit von Schichtisoliersystemen aus PBT (Polybutylenterephthalat) und Silikongel unter dem Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Lottis, Christian	Umbau eines Marxgenerators zur Erzeugung von Stoßströmen	Jörres
Master	Menzel, Robert	Untersuchung der Spannungsfestigkeit von Silikongelisolierungen in IGBT-Modulen	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Mölle, Bastian	Untersuchung der Durchschlagsfestigkeit von Polyurethan-Gel	Raulf
Master	Schäffer, Christian	Untersuchung der elektrischen Alterung eines Isolationssystems bestehend aus PBT (Polybutylenterephthalat) und Silikongel in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit	Claudi, Zacharias

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | ~~ANX~~

2018	Name	Titel	Betreuer
Bachelor	Schenk, Marius	Untersuchung des Einflusses netzfrequenter Magnetfelder von HV-Freileitungen auf GNSS-Empfänger	Claudi, Zacharias
Master	Schmidt, Robin	Entwicklung und Validierung eines Navigationskonzepts für fahrerlose Transportfahrzeuge mittels Indoor-Echtzeitlokalisierung	Claudi, Brabetz
Master	Stocker, Jannik	Untersuchung zum Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf das Isoliersystem bestehend aus PBT (Polybutylenterephthalat) und Silikongel“	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Ugur, Alas	Rückrechnung systematischer Fehler im Zuge einer analogen Integration mit kontinuierlicher Rückstellung	Jörres
Master	Walz, Oliver	Entwicklung und Aufbau eines Prüfstandes für elektrische Lebensdauerversuche von Isolierstoffsystemen	Claudi, Lehmann
Master	Weide, Manuel	Entwicklung eines Programms zur spektralen Untersuchung basierend auf GNU-Radio und Software Defined Radios	Claudi, Zacharias
Master	Zanina, Ihab	Untersuchung der relativer Permittivität und des Wechselspannungswiderstandes von Polybutylenterephthalat (PBT) in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit.	Claudi, Zacharias
Projektarbeit	Zuber, Daniel	Alterungsmechanismen von Varistoren und deren messtechnische Bestimmung	Jörres

AKTUELLE ABSCHLUSSARBEITEN IN 2017 + 2018 | ✓

2017	Name	Titel	Betreuer
Master	Küchle, Johannes	Im Lebenszyklus investierte Energie für voll-erneuerbare Stromversorgungssysteme und deren Auswirkungen auf kostenoptimale Systemkonfigurationen"	Hoffmann
Master	Schittek, Walter	Augmented Block-Diagram Model for Investigating Primary-Control Performance at Low Inertia	Hoffmann
Bachelor	Schmitz, Richard	Beitrag der Solarthermie zur Dekarbonisierung der FernwärmeverSORGUNG	Hoffmann
Master	Siebenlist, David	Untersuchung des ZuverlässigkeitSverhaltens von Windenergieanlagen zur Optimierung von Instandhaltungsstrategien	Hoffmann
Bachelor	Stracke, Daniel	Doppelpulsversuche zur Verlustleistungsbestimmung von Leistungshalbleitern mittels erweiterter Gate-Ansteuerung	Hoffmann
Master	Wang, Miao	Investigation of the Electromagnetic Compatibility Properties of Inductive Charging System for Electric Vehicles	Hoffmann
Master	Wang, Jiamei	Untersuchung der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von Photovoltaik-Anlagen auf der Generatorseite	Hoffmann
Master	Woltering, Steffen	Techno-ökonomische Modellierung des Upscalingvorgangs einer Power-to-Gas-Anlage zur Bewertung des Einsatzes von erneuerbaren Kraftstoffen im öffentlichen Nahverkehr	Hoffmann

2018	Name	Titel	Betreuer
Master	Dörre, Elias	Entwicklung eines Home Energy Reporting als individualisiertes Teilnehmer_innen-Feedback für ein Social Energy Management System	Hoffmann
Bachelor	Eschmann, Jonas	Bereitstellung flexibler Leistung von batterieelektrischen Fahrzeugen nach Berücksichtigung des temperaturabhängigen Energiebedarfs	Hoffmann
Master	Klee, Matthias	Automatisierte Tests zur Bestimmung von Verlusten in Leistungs-halbleitern	Hoffmann
Master	Scharf, Martin	Untersuchung der Auswirkung von Speicherbetriebsführungen auf die Netzauslastung von Verteilungsnetzen unter Anwendung von zeitreihen-basierten Lastflusssimulationen	Hoffmann
Bachelor	Wiemer, Jan	Spitzenkappung in Planung und Betriebsführung elektrischer Mittel-spannungsnetze	Hoffmann

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge EVS			EVS
Peter Zacharias, Thiemo Kleeb, Florian Fenske, Jiajing Wende, Jonas Pfeiffer	Controlled Magnetic Devices in Power Electronic Applications	EPE'17 ECCE Europe bei IEEE	2017
Thiemo Kleeb, Juliane Hinze, Peter Zacharias	High Performance Common-Differential Mode Chokes for High Efficient EMI Filters	PCIM Europe 2017 bei IEEE	2017
A. Korner, C. Buhlheller, L. Keuck, E. Oliveira	Spannung im Wandel – Leistungselektronische Wandler für Hybrid und Elektrofahrzeuge	7. ETG-Fachtagung Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen, Bad Nauheim, Germany	2017
E. Oliveira, C. Noeding and P. Zacharias	Impact of Dynamic On-Resistance of High Voltage GaN Switches on the Overall Conduction Losses	PCIM Europe 2017	2017
Douglas Pappis, Peter Zacharias	Failure Modes of Planar and Trench SiC MOSFETs under Single and Multiple Short Circuits Conditions	EPE Warszaw 2017	2017
Zacharias, P.; Hinze, J.	Performance comparison of fast Silicon and Silicon Carbide Devices used with conventional PCB's and embedded into PCB's	PCIM 2017	2017
Johannes Falck, Christian Felgemacher, Andreja Rojko, Marco Liserre, Peter Zacharias	Improve reliability in power electronics: An industry perspective	IEEE Magazine	2017
Felipe Bandeira da Silva, Eduardo Façanha de Oliveira, Tobias Rafael Fernandes Neto, Peter Zacharias	Design Optimization of a Three-Phase Bidirectional Dual Active Bridge DC/DC Converter for E-Vehicles Applications	PCIM Europe 2018	2018
Johannes Falck; Christian Felgemacher; Andreja Rojko; Marco Liserre; Peter Zacharias	Reliability of Power Electronic Systems: An Industry Perspective	IEEE Industrial Electronics Magazine	2018
Peter Zacharias	Systems for electric power supply with interconnected scattered but 'smart' resources	The 4 th ASEAN Smart Grid Congress (ASGC4) Sgtech	2018

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge AHT			
Wels, S; Lambrecht, J; Claudi, A.	Silicone Gel Compounds for Medium and High Voltage Insulation with Nonlinear Stress Grading – State of the Art	Conference on Silicone Insulation, Wacker Academy, Burghausen	2017
Böttge, B; Bernhardt, R; Klengel, S; Wels, S; Claudi, A.	The influence of environmental conditions on the properties of housing materials for power electronics	21 ST EUROPEAN MICROELECTRONICS AND PACKAGING CONFERENCE (EMPC), EMPC, Warschau	2017
Cavallini, A; Claudi, A. et.al.	Insulation Degradation under fast, repetitive Voltage Pulses	Cigré TB 703, Working Group D1.43, Paris	2017
Böttge, B; Bernhardt, R; Klengel, S; Wels, S; Claudi, A.	New specimen geometry to test engineering plastics for power electronic applications	VDE Verlag, Berlin	2018
Raulf, T; Claudi, A; Zander, R; Fuchs, C; Tutsch, W.	Evaluierung einer CCD Kamera zur Detektion von UV-Emissionen durch Koronaentladungen	VDE-Hochspannungstechnik 2018, VDE Verlag GMBH, Berlin, Offenbach	2018
Bernhardt, R; Böttge, B; Klengel, S; Born, M; Wels, S; Claudi, A.	Microstructural and Chemical Investigation of Dielectric Breakdown Areas in Engineering Plastics	Electronics System-Integration Technology Conference 2018, IEEE Xplore, Dresden	2018
Wiens C; Claudi, A; Finis G.	Dynamisches Verhalten von PV-Generatoren bei Ausschaltvorgängen	VDE-Hochspannungstechnik 2018, VDE Verlag, Berlin	2018
Brockhaus, H; Claudi, A.	Influence of Electromagnetic Emissions of High Voltage Overhead Lines on GNSS-Components	Proceedings of the 31 st International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018), The Institute of Navigation, Inc. (ION), Miami, Florida,	2018
Wels, S; Obst, J; Claudi, A; Böttge, B; Bernhardt, R; Klengel, S.	Limitation of test sample arrangements according to IEC 60243-1: Electrical strength of insulating materials – Test methods	IEEE International Conference on Dielectrics 2018, IEEE Xplore, Budapest	2018
Leblond, A; Claudi, A. et.al.	The Use of Robotics in Assessment and Maintenance of Overhead Lines	Cigré TB 731,Working Group B2.52, Paris	2018
Boettge, B; Bernhardt, R; Klengel, S; Wels, S; Claudi, A.	Novel specimen design to test engineering plastics for power electronic applications	IPS 2018 – 10 th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, pp 285-292, VDE VERLAG GMBH Berlin Offenbach	2018
Wels, S; Claudi, A; Böttge, B; Bernhardt, R; Klengel, S.	Untersuchung der Einflussfaktoren auf die elektr. Festigkeit von thermoplastischen Kunststoffen anhand einer neuen Prüfkörpergeometrie	VDE-Hochspannungstechnik 2018, VDE Verlag, Berlin	2018

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Autoren	Titel	Konferenz	Jahr
Konferenzbeiträge AHT			
Wels, S; Schaller, R; Claudi, A.	Investigation of the partial discharge inception voltage of semiconductor sensor packages at repetitive impulse stress under the variation of pulse	IEEE International Conference on Dielectrics 2018, IEEE Xplore, Budapest	2018
Brockhaus, H; Claudi, A.	Einfluss elektromagnetischer Emissionen von Hochspannungsfreileitungen auf GNSS-Komponenten	VDE-Hochspannungstechnik : Beiträge der Fachtagung VDE-Hochspannungstechnik 2018, VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach	2018

Beiträge in wissenschaftlichen Journals / Fachzeitschriften eⁿ	
J. von Appen, M. Braun "Strategic decision making of distribution network operators and investors in residential photovoltaic battery storage systems", Journal "Applied Energy", Vol. 230, pp. 540-550, DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.08.043, November 2018	
M. Braun, J. Brambach, C. Hachmann, D. Lafferte, A. Klingmann, W. Heckmann, F. Welck, D. Lohmeier, H. Becerk "The Future of Power System Restoration: Using Distributed Energy Resources as a Force to Get Back Online", journal "IEEE Power and Energy Magazine", Vol. 16, pp. 30-41, DOI 10.1109/MPE.2018.2864227, November 2018	
J. von Appen, M. Braun "Interdependencies between self-sufficiency preferences, techno-economic drivers for investment decisions and grid integration of residential PV storage systems", journal "Applied Energy", Vol. 229, DOI 10.1016/j.apenergy.2018.08.003, November 2018	
G. Lammert, D. Premm, L. D. Pabon Ospina, J. C. Boemer, M. Braun, T. Van Cutsem, "Control of Photovoltaik Systems for Enhanced Short-Term Stability and Recovery", journal "IEEE Transactions on Energy Conversion", PP (99)1-1, DOI 10.1109/TEC.2018.2875303, October 2018	
M. Kraiczy, H. Wang, S. Schmidt, F. Wirtz, M. Braun "Reactive Power Management at the Transmision-Distributon Interface with the Support of Distributed Generators – A Grid Planning Approach, „IET Generation Transmission & Distribution“ 12 (22):5949 – 5955, DOI 10.1049/iet-gtd.2018.5673, September 2018	
S. Breker, J. Rentsmeier, B. Sick, M. Braun, "Hosting capacity of low-voltage grids for distributed generation: Classification by means of machine learning techniques", Applied Soft Computing Vol. 70, pp. 195-207, DOI: 10.1016/j.asoc.2018.05.007, September 2018	
J. Von Appen, M. Braun "Interdependencies between self-sufficiency preferences, techno-economic drivers for investment decisions and grid integration of residential PV storage systems", Elsevier Applied Energy, August 2018	
D. Fetzer, G. Lammert, S. Gehler, J. Hegemann, R. Schmoll, M. Braun, "Integration of voltage dependent power injections of distributed generators into the power flow by using a damped Newton method", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems" vol. 99, pp. 695-705, DOI 10.1016/j.ijepes.2018.01.049, Juli 2018	

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Beiträge in wissenschaftlichen Journals / Fachzeitschriften e²n



M. Braun, L. Hofmann, A. Braun, J. Dobschinski, R. Reinhard Mackensen, C. Scholz, S. Wende von Berg, A. Baier, H. Becker, J. Liebel, D. Mende, S. Stock "White paper Generation and load Data Provision Methodology (GMDPM)", June 2018

M. Vogt, F. Marten, M. Braun "A survey and statistical analysis of smart grid co-simulations", Project: OpSim & OpSimEval (www.opsim.net), "Applied Energy 222C", DOI 10.1016/j.apenergy.2018.03.123, April 2018

M. Braun, I. Krybus, H. Becker, R. Bolgaryn, J. Dasenbrock, P. Gauglitz, D. Horst, C. Pape, A. Scheidler, Jan Ulffers "Verteilnetzstudie Hessen 2024 – 2034 – Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung", April 2018

A. Scheidler, L. Thurner, M. Braun, "Heuristic Optimization for Automated Distribution System Planning in Network Integration Studies", Project: Automated Grid Planning for Distribution Grids, "IET Renewable Power Generation 12" (5), DOI 10.1049/ietrpg.2017.0394, April 2018

L. Thurner, A. Scheidler, A. Probst, M. Braun „Analysing the Degree of Meshing in Medium Voltage Target Grids – An Automated Technical and Economical Impact Assessment”, Project Automated Grid Planning for Distribution Grids, February 2018

J.-H. Menke, J. Hegemann, S. Gehler, M. Braun "Heuristic Monitoring Method for Sparsely Measured Distribution Grids", Project: OpSim & OpSim Eval (www.opsim.net), "International Journal of Electrical Power & Energy Systems" vol. 95, pp. 146-155, DOI 10.1016/j.ijepes.2017.08.023, February 2018

C. Shen, P. Kaufmann, C. Hachmann, M. Braun "Three-stage power system restoration methodology considering renewable energies", "International Journal of Electrical Power & Energy Systems" vol. 94, pp. 287-299, DOI: 10.1016/j.ijepes.2017.07.007, January 2018

J.-H. Menke, N. Bornhorst, M. Braun "Distribution System Monitoring for Smart Power Grid with Distributed Generation Using Artificial Neural Networks", January 2018

G. Lammert, A. Klingmann, C. Hachmann, D. Lafferte, H. Becker, T. Paschedag, W. Heckmann, M. Braun "Modelling of Active Distribution Networks for Power System Restoration Studies", DOI 10.1016/j.ifacol.2018.11.762, January 2018

A. Scheidler, L. Thurner, M. Braun "Automated Distribution System Planning for Large-Scale Network Integration Studies", November 2017

E. Drayer, N. Kechagia, J. Hegemann, M. Braun, M. Gabel, R. Caire "Distributed Self-Healing for Distribution Grids With Evolving Search Space" IEEE Transactions on Power Delivery PP(99):1-1 DOI: 10.1109/TPWRD.2017.2762090, October 2017

T. Kneiske, M. Braun "Flexibility potentials of a combined use of heat storages and batteries in PV-CHP hybrid systems", Project: Innovative Energiespeicher in vernetzten Photovoltaik-Hybridsystemen (INE-VES), Energy Procedia 135:482-495, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.498, October 2017

L. Thurner, A. Scheidler, F. Schäfer, J. Menke, J. Dollichon, F. Meier, S. Meinecke, M. Braun "Pandapower – an Open Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis and Optimization of Electric Power Systems", IEEE Transactions on Power Systems PP(99), DOI: 10.1109/TPWRS.2018.2829021, September 2017

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018**Beiträge in wissenschaftlichen Journals / Fachzeitschriften e²n**

L. Thurner, M. Braun, A. Scheidler, A. Probst "Heuristic Optimization for Network Restoration and Expansion in Compliance with the Single Contingency Policy" IET Generation Transmission & Distribution 11(17), DOI: 10.1049/iet-gtd.2017.0729, June 2017

M. Kraiczy, T. Stetz, M. Braun "Parallel Operation of Transformers With on Load Tap Changer and Photovoltaic Systems With Reactive Power Control", IEEE Transactions on Smart Grid PP(99):1-1, DOI: 10.1109/TSG.2017.2712633, June 2017

Y. Saint-Drenan, G.H. Good, M. Braun "A probabilistic approach to the estimation of regional photovoltaic power production", Solar Energy 147:257-276, DOI: 10.1016/j.solener.2017.03.007, May 2017

E. Kaempf, M. Braun "Models of reactive power-related wind park losses for application in power system load flow studys", Wind Energy 20 (4) DOI: 10.1002/we.2083, March 2017

Beiträge in Konferenzproceedings e²n

S. Meinecke, A. Klettke, D. Sarajilic, S. Drauz, L. Lauven, J. Sprey, C. Kittl, C. Spalthoff, M. Braun, A. Moser, Christian Rehtanz, Tanja Kneiske "Simulationsbasis zum einheitlichen Vergleich von innovativen Lösungen im Bereich der Netzanalyse, -planung und -betriebsführung", ETG-CIRED-Workshop (D-A-CH) powered by VDE Tec Summit, November 2018

J. Ulfers, A. Scheidler, J.-C. Töbermann, M. Braun "Grid Integration Studies for eMobility Scenarios with Comparison of Probabilistic Charging Models to multaneity Factors", conference "2nd E-Mobility Power System Integration Symposium", October 2018

D. Fetzer, G. Lammert, A. Ishchenko, L. Tabit, M. Braun "A Flexible MATLAB/Simulink RMS-Framework for Electrical Power Systems Designed for Research and Education", conference: 2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), DOI: 10.1109/ISGT Europe.2018.8571837, October 2018

S. Von-Berg, F. Marten, M. Braun "Quadratic programming-based grid optimization algorithms for real-time applications," , 2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), DOI: 10.1109/ISGT Europe.2018.8571652, October 2018

F. Schäfer, M. Braun "An efficient open-source implementation to compute the jacobian matrix for the Newton-Raphson power flow algorithm", 2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), DOI: 10.1109/ISGT Europe.2018.8571471, October 2018

L. Thurner, M. Braun "Vectorized Calculation of Short Circuit Currents Considering Distributed Generation – An Open Source Implementaion of IEC 60909!, "2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), DOI 10.1109/ISGT Europe. 2018.8571529, October 2018

F. Schäfer, J. H. Menke, M. Braun "Contingency Analysis of Power Systems with Artificial Neural Networks", "2018 IEEE International Conference on Communications, Control and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), DOI 10.1109/SmartGridComm.2018.8587482, October 2018

J.-H. Menke, F. Schäfer, M. Braun "Performing a Virtual Field Test of a New Monitoring Method for Smart Power Grids", "2018 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), DOI: 10.1109/SmartGridComm.2018.8587551, October 2018

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Beiträge in Konferenzproceedings e²n



G. Lammert, A. Klingmann, C. Hachmann, D. Lafferte, H. Becker, T. Paschedag, W. Heckram, M. Braun "Modelling of Active Distribution Networks for Power System Restoration Studies", IFAC 10th Symposium on Control of Power and Energy Systems(CPES2018), September 2018

S. Meinecke, N. Bornhorst, M. Braun "Power System Benchmark Generation Methodology" (Preprint Version); "Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems At Hamburg", September 2018

G. Banerjee, M. Braun "Analysis of the Impact on the Grounding System in 110 kV Grid during Bottom-up Network Restoration", conference" SEST 2018" At: Sevilla, Spain, DOI: 10.1109/SEST.2018.8495738, September 2018

T. M. Kneiske, D. Then, C. Spalthoff, M. Braun, R. Voll, M. Fiedeldey, "Berücksichtigung lokaler und sektorübergreifender Einflussgrößen bei der Planung städtischer Verteilnetze Zusammenfassung", Conference: "Zukunftsfähige Stromnetze", Project: MultiPlan, September 2018

M. Kraiczy, B. York, M. Bello, D. Montenegro, S. Akagi, M. Braun, "Coordinating Smart Inverters with Advanced Distribution Voltage Control Strategies", Conference: "2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)", DOI: 10.1109/PESGM.2018.8586333, August 2018

M. Braun, C. Hachmann, H. Becker, F. Welck, W. Heckmann "Contribution of Renewable Energies in Power System Restoration", 2018 IEEE PES General Meeting, August 2018

M. Braun, I. Krybus "Vorstellung wesentlicher Inhalte der Verteilnetzstudie" Stabilität durch Flexibilität: Das Hessische Stromnetz der Zukunft, Juni 2018

S. Ruben-Drauz, C. Spalthoff, M. Wurtenberg, M. Braun "A modular approach for co-simulations of integrated multi-energy systems: Coupling multi-energy grids in existing environments of grid planning & operation tools", Conference: "2018 Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES)", DOI 10.1109/MSCPES.2018.8405395, April 2018

C. Hachmann, M. Valov, G. Lammert, W. Heckmann, M. Braun "Unterstützung des Netzwiederaufbaus durch Ausregelung der dezentralen Erzeugung im Verteilnetz", Project: NETZ:KRAFT, Conference "Zukünftige Stromnetze für erneuerbare Energien, AT: Berlin, January 2018

H. Wang, M. Kraiczy, S. Schmidt, F. Wirtz, J.-C. Töbermann, B. Ernst, M. Braun "Reactive Power Management at the Network Interface of EHV-and HV Level: Assessment of Technical and Economic Potential Based on a Case Study for Bayernwerk Netz GmbH", Conference: "International ETG Congress 2017 – Die Energiewende", November 2017

J. Henze, T. M. Kneiske, M. Braun "Identifying Representative Load Time Series for Load Flow Calculations", Conference: "International Workshop on Data Analytics for Renewable Energy Integration", Project – Probabilistische innovative Methoden in der Energiesystemtechnik, DOI: 10.1007/978-3-319-71643-5_8, November 2017

F. Meier, J. Kupka, J. Toebermann, M. Braun "Assessment of Active Power Curtailment Methods With Regard to the German Regulatory Context", Conference: 7th Internation Solar Integration WorkshopAt: Berlin, Projekt: Smartgridmodels, October 2017

G. Lammert, K. Yamashita, L. Ospina, H. Renner, S. Villanueva, P. Pourbeik, F. Ciausiu "Modelling and dynamic performance of inverter based generation in power system studies: an international questionnaire survey", 24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), DOI: 10.1049/oap-cired.2017.0898, Oktober 2017

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Beiträge in Konferenzproceedings e²n



C. Hachmann, G. Lammert, M. Braun "Power System Restoration and Operation of Island Grids with Frequency Dependent Active Power Control of Distributed Generation", Conference: NEIS 2017; Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems, Projekt: NetzKraft, Hamburg, Germany, September 2017

H. Wang, M. Kraiczy, S. Wende von Berg, B. Ernst, S. Schmidt, F. Wirtz, M. Braun "Reactive Power Coordination Strategies with Distributed Generators in Distribution Networks", Conference: 1st International Conference on Large-Scale grid Integration of Renewable Energy in India, August 2017

G. Lammert, J. Boemer, D. Bremm, O. Glitza, L. Ospina, D. Fetzer, M. Braun "Impact of fault ride-through and dynamic reactive power support of photovoltaic systems on short-term voltage stability", Conference: 2017 IEEE Manchester PowerTech, DOI: 10.1109/PTC.2017.7980926, June 2017

F. Pilo, F. Silvestro, G. Mauri, J. Taylor, B. Bak-Jensen, M. Braun, E. Kaempf "Control and Automation Systems at the TSO/DSO interface: a survey on the actual functionalities and DSO requirements", Conference: CIGRE Symposium, at Dublin, May 2017

H. Wang, M. Kraiczy, S. Schmidt, B. Requardt, J. Toebermann, M. Braun "Blindleistungsmanagement im Verteilnetz durch Zentrale Regelung großer PV-Anlagen: Pilottest in einem Mittelspannungsnetz der Bayernwerk AG", Conference: OTTI- Konferenz: Zukünftige Stromnetze für erneuerbare Energien, January 2017

S. Wende von Berg, F. Marten, B Requardt, H. Wang, M. Vogt, M. Braun "Technische Bewertung von Betriebsführungen mithilfe einer Echtzeit-Simulationsumgebung, am Beispiel des Verbundforschungsprojektes SysDL2.0", Conference: 4. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, At: Berlin, Project: OpSim & OpSimEval (www.opsim.net), January 2017

Bücher und Buchbeiträge e²n



G. Lammert, K. Yamashita, L. Ospina, H. Renner, S. Martinez Villanueva, M. Braun, P. Pourbeik, F. Ciausiu "International Industry Practice on Modelling and Dynamic Performance of Inverter Based Generation in Power System Studies", Seiten: 25-37 aus "Cigre Science & Engineering", June 2017

Öffentliche Vorträge e²n



J. Ulffers, A.Scheidler, J.-C. Töbermann, M. Braun "Grid Integration Studies for eMobility Scenarios with Comparison of Probabilistic Charging Models to multaneity Factors", conference "2nd E-Mobility Power System Integration Symposium", October 2018

A. Scheidler, J.Ulffers, J. Dasenbrock, D. Horst, C.Pape, M.Braun "DER Integration Study for the German State of Hessen – Methodology and Results for the Medium-and Low-Voltage Level", "8th Solar Integration Workshop", October 2018

D. Lohmeier, L. Thurner, M. Braun, T.M. Kneiseke, poster "Automated Network Planning Including an Assset Management Strategy", "ETG 2017", Project ANaPlan-Automatisierte Netzausbauplanung im Verteilnetz, September 2018

E. Kaempf, M. Braun, H. Wang, B. Ernst "Remuneration of controllable reactive power inside so far free of charge range: Cost-Benefit Analysis", Conference: "Solar Integration Workshop, AT: Berlin", November 2017

PUBLIKATIONEN 2017 / 2018

Öffentliche Vorträge e²n



E. Drayer, P. Pernigotto, J. Molinero, F. Ramos, M. Braun, M. Lazarus "From simulation to reality: testing today a decentralised grid operation of the future" Projekt: DREAM FP7, DOI: 10.1049/oap-cired.2017.0379, October 2017

M. Nemati, M. Braun, S. Tenbohlen "Optimization of unit commitment and economic dispatch in microgrids based on genetic algorithm and mixed integer linear programming", Projekt: Smart Grids, Applied Energy, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.07.007, July 2017

T. Kneiske, M. Braun, D. Hidalgo Rodriguez "A new combined control algorithm for PV-CHP hybrid systems", Project: Innovative Energiespeicher in vernetzten Photovoltaik-Hybridsystemen (INE-VES)", Applied Energy 210, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.06.047, July 2017

M. Kraiczy, L. Al Fakhri, T. Stetz, M. Braun, "Do It Locally: Local Voltage Support by Distributed Generation – A Management Summary" Report number: Report IEA-PVPS T14-08:2017 Project: IEA-PVPS Task 14 High Penetration PV in Electricity Grids, January 2017

M. Braun, F. Marten, S. Wende-von Berg, Fraunhofer IEE, University of Kassel, "OpSim: Test and simulation environment for grid control and aggregation strategies", "IRED WIEN", 8th International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources, October 2018

M. Braun "Beiträge Erneuerbarer Energien beim Netzwiederaufbau", "IEEE PES German Chapter Workshop, Kassel", September 2018

M. Braun "Providing ancillary services from distribution grids under the usage of distributed renewable generation: Results from a field test"; "IEEE GM August Portland, USA", August 2018

M. Braun, D. Then, Stadtwerke Bamberg "Convergence of Utility Business", "World Utility Summit", New Delhi, India, March 2018

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Leitung EVS



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

Leitung e²n



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

Leitung AHT



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

Leitung INES



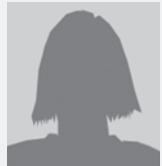
**Prof. Dr. rer. nat.
Clemens Hoffmann (INES)**
Tel.: 0561 804 6344
clemens.hoffmann@iee.fraunhofer.de

Stellvertretende Leitung / EVS



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

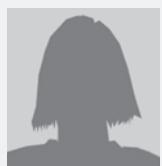
Sekretariate



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



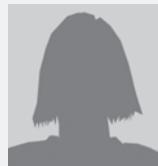
Frau Kristina Torno (e²n)
bis 2017



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



Frau Nicole Schmidt (e²n)
Tel.: 0561 804 6202
e2n@uni-kassel.de



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

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Dr.-Ing. Alejandro Aganza Torres (EVS)

Tel.: 0561 804 6404
alejandro.aganza@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Werner Döring (EVS)
bis 2018



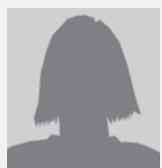
Gourab Banerjee (e²n)

Tel.: 0561 804 6217
gourab.banerjee@uni-kassel.de



Marcel Ernst (e²n)

Tel.: 0561 804 6180
marcel.ernst@uni-kassel.de



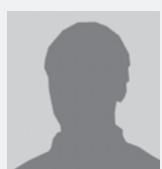
Dr.-Ing. Sarah Becker (INES)

Tel.: 0561 804 6461
sarah.becker@uni-kassel.de



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

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



Alexander Basse, M.Sc. (INES)

Tel.: 0561 804 6169
alexander.basse@uni-kassel.de



Marc Faßhauer, M.Sc. (EVS)

Tel.: 0561 804 6320
marc.fasshauer@uni-kassel.de



Techn. Volker Berge (EVS)

Tel.: 0561 804 6524
vberge@uni-kassel.de



Christian Felgemacher, M.Eng. (EVS)

bis 2018



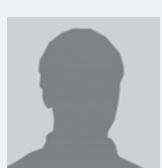
Dr.-Ing. Nils Bornhorst (e²n)

Teamleiter
Tel.: 0561 804 6381
nils.bornhorst@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Florian Fenske (EVS)

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



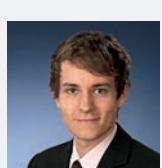
Henrik Brockhaus, M.Sc. (AHT)

Tel.: 0561 804 6481
brockhaus@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Dirk Fetzer (e²n)

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



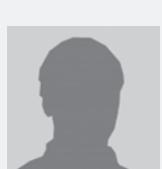
Marcel Dipp (e²n)

Tel.: 0561 804 6432
marcel.dipp@uni-kassel.de



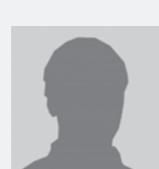
Kai Fischbach (e²n)

Tel.: 0561 804 6221
kai.fischbach@uni-kassel.de



Hiep Do Thi, MBA, B.Sc. (INES)

Tel.: 0561 804 6227
hiepdt@student.uni-kassel.de



Kok Yun Foo, M.Sc. (EVS)

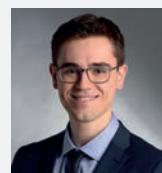
bis 2019

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



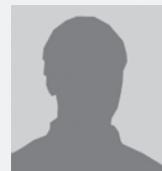
Gabriela Freitas, B.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6510
gabriela.freitas@uni-kassel.de



Alexander Klingmann (e²n)
Tel.: 0561 804 6206
alexander.klingmann@uni-kassel.de



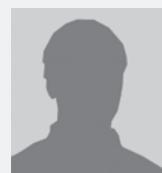
Wolfgang Fröhlich (EVS)
bis 2017



Dipl.-Ing. Geo Kocheril (INES)
Tel.: 0561 804 6103
Geo.kocheril@uni-kassel.de



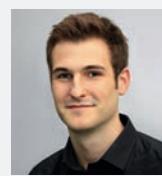
Dipl.-Ing. Bernd Gruß (e²n)
Tel.: 0561 804 6228
gruss@uni-kassel.de



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



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



Jannis Kupka (e²n)
Tel.: 0561 804 6658
jannis.kupka@uni-kassel.de



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



Pierre Küster, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6345
pierre.kuester@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Juliane Hinze (EVS)
bis 2018



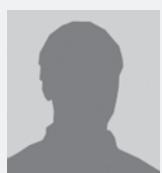
Dr.-Ing. Darío Lafferte (e²n)
Tel.: 0561 804 6653
dario.lafferte@uni-kassel.de



Dr. phil. Sascha Holzhauer (INES)
Tel.: 0561 804 6513
sascha.holzhauer@uni-kassel.de



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



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



Dr. rer. pol. Lars-Peter Lauven (e²n)
Teamleiter
Tel.: 0561 804 6165
lars.lauven@uni-kassel.de



Dr.-Ing. Thiemann Kleeb (EVS)
verstorben 2017



Zheng Liu (e²n)
Tel.: 0561 804 6409
zheng.liu@uni-kassel.de

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



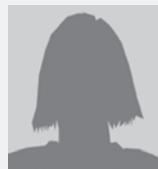
Steffen Meinecke, M.Sc. (e²n)
Tel.: 0561 804 6084
steffen.meinecke@uni-kassel.de



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



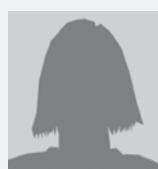
Lucas Menezes, M.Sc. (EVS)
bis 2017



Jonas Pfeiffer, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6512
jonas.pfeiffer@uni-kassel.de



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



Ashreeta Prasanna, M.Sc. (INES)
Tel.: 0561 804 6207
Ashreeta.Prasanna@uni-kassel.de



Raoul Mitze, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6491
raoul.mitze@uni-kassel.de



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



Dipl.-Ing. Manuel Münch (EVS)
Tel.: 0561 804 6370
manuel.muench@uni-kassel.de



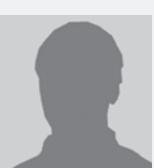
Mahmoud Saeidi, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6491
mahmoud.saeidi@uni-kassel.de



Lukas Nacken, M.Sc. (INES)
Tel.: 0561 804 6522
Lukas.Nacken@uni-kassel.de



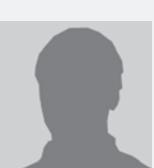
Florian Schäfer, M.Sc. (e²n)
Tel.: 0561 804 6176
florian.schaefer@uni-kassel.de



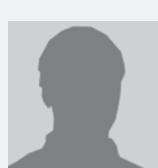
Ahmad Nazeri, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6345
ahmad.nazeri@uni-kassel.de



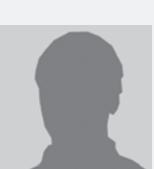
Martin Scharf (e²n)
Tel.: 0561 804 6127
martin.scharf@uni-kassel.de



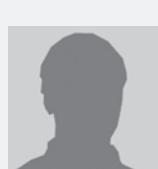
Khanh-Hung Nguyen, M.Sc. (EVS)
Tel.: 0561 804 6305
uk059103@uni-kassel.de



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



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



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

MITARBEITER DES KDEE/EVS/e²n/AHT/INES

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Sebastian Sprunck, M.Sc. (EVS)

Tel.: 0561 804 6305
sebastian.sprunck@uni-kassel.de



Leon Thurner, M.Sc. (e²n)

Tel.: 0561 804 6377
leon.thurner@uni-kassel.de



Zhenqi Wang (e²n)

Tel.: 0561 804 6669
zhenqi.wang@uni-kassel.de



Dipl.-Ing. Sebastian Wels (AHT)

Tel.: 0561 804 6306
wels@uni-kassel.de



Jiajing Wende, M.Sc. (EVS)

Tel.: 0561 804 6510
jiajing.wende@uni-kassel.de



Dr. rer. nat. Sebastian Wende von Berg (e²n)

Teamleiter
Tel.: 0561 804 6381
sebastian.wende-von.berg@uni-kassel.de



Jörg Wiederrecht (EVS)

Tel.: 0561 804 6524
wie@uni-kassel.de

Externe Lehrbeauftragte

AHT:

Lehrbeauftragte (AHT)

Dr.-Ing. Gernot Finis

Dr.-Ing. Cornelia Vandahl

Dipl.-Ing. Oskar Winter

Frank Gielsdorf

Dr.-Ing. Stefan Wolf

EVS:

Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke

Prof. Dr.-Ing. Mike Meinhard

WWW.KDEE.UNI-KASSEL.DE



IMPRESSIONEN

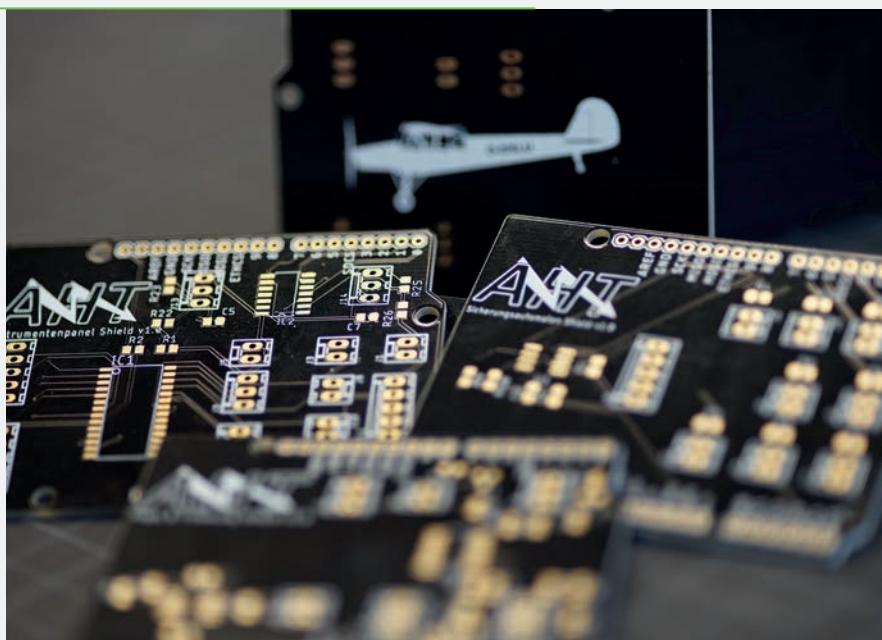
IMPRESSIONEN 2017 / 2018



AHT Hochspannendes Skiseminar im Zillertal



AHT Projektgruppe „Fieseler Storch
Trainingssimulator“

IMPRESSIONEN 2017 / 2018Team e²n

AHT Storchplatine

IMPRESSIONEN 2017 / 2018



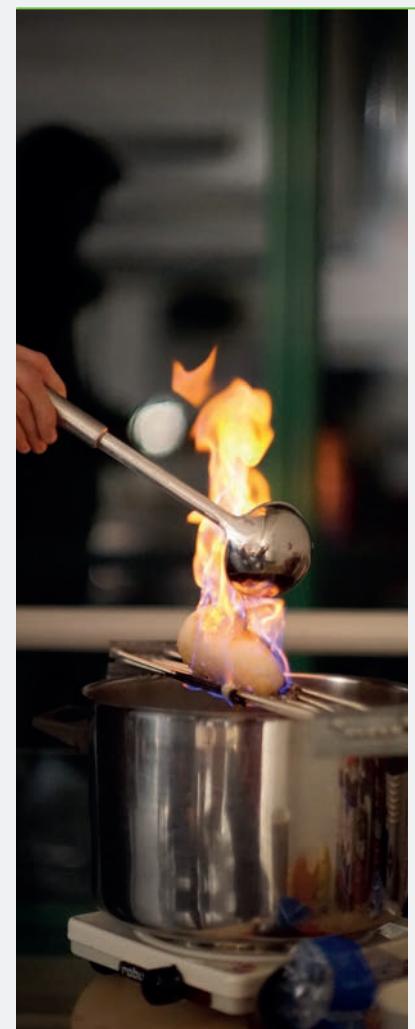
Betriebsausflug des EVS mit der Fuldanixe 2018



Team EVS

IMPRESSIONEN 2017 / 2018e²n WeihnachtsfeierAHT
Weihnachtsgrüße

Spießbraten und Feuerzangenbowle auf der AHT Weihnachtsfeier



IMPRESSIONEN 2017 / 2018



AHT Exkursion München. Im Hochspannungslabor der Tyco Electronics Raychem

IMPRESSIONEN 2017 / 2018

AHT Exkursion München

www.kdee.uni-kassel.de

Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE)

Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS)

Fachgebiet Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n)

Fachgebiet Anlagen und Hochspannungstechnik (AHT)

Fachgebiet Integrierte Energiesysteme (INES)

Universität Kassel
Wilhelmshöher Allee 71

34121 Kassel, Germany

EVS: Tel. +49 561 804 6344
www.evs.uni-kassel.de

AHT: Tel. +49 561 804 6420
www.uni-kassel.de/eecs/iee-aht

e²n: Tel. +49 561 804 6201
www.e2n.uni-kassel.de

INES: Tel. +49 561 804 6182
www.uni-kassel.de/eecs/fachgebiete/integrierte-energiesysteme

Stand: Mai 2019

