

## JAHRESBERICHT 2009

01000010  
10000  
1010111  
010100110101  
01010011  
10101010010101  
0010010  
1010101010  
011101010  
10110010

# **JAHRESBERICHT 2009**

---

## **IMPRESSUM**

---

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

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias

Anschrift:  
Wilhelmshöher Allee 71  
D-34121 Kassel  
Germany

Tel.: +49 561 804 6344  
Fax: +49 561 804 6521

E-mail: sekretariat.evs@uni-kassel.de

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

Redaktionelle Koordination: Dipl.-Ing. Benjamin Sahan

Konzept & Gestaltung:  
Formkonfekt | Kassel | Karen Marschinke, Manuela Greipel

Bilder:  
Universität Kassel, Agentur für Erneuerbare Energien, iStockphoto

Herstellung: Boxan, Kassel

Auflage: 500 Stück

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

Kassel, März 2010

<b>ÖFFENTLICHKEITSARBEIT</b>	<b>5</b>	<b>LEISTUNGSELEKTRONIK</b>	<b>25</b>
Vorwort	5	Vorwort	25
Selbstbild KDEE	6	SiC Leistungshalbleiter	25
Eröffnung des KDEE	9	Leistungselektronische Wandler mit selbstleitenden	27
Auszeichnungen für Kasseler Forscher	10	SiC-JFETs	
Kooperationen	12	Hocheffiziente PV-Wechselrichtersysteme	29
Labor-Infrastruktur / Serviceangebote	15	Galvanisch nicht getrennte Stromrichter für netz-	31
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme	16	gekoppelte Systeme mit geerdetem PV-Generator	
Das KDEE ist Mitglied des Forschungsverbunds	18	Untersuchung eines 3-phasigen Wechselrichters mit	32
Fahrzeugsysteme		nur 2 Hochfrequenz Transistoren	
<b>ENERGIESYSTEME</b>	<b>19</b>	DC-DC Wandler mit hohem Übersetzungsverhältnis	34
Vorwort	19	Approximation der Trägerlaufzeit für die Vorhersage	36
Drehzahlvariable Blockheizkraftwerke	19	von PETT-Oszillationen in Leistungsdioden	
Leistungselektronische Wandler für	21	Entwicklung einer elektronischen Quelle/Last	38
Automotive Anwendungen			
Beiträge zur Netzregelung durch dezentrale	22	<b>DOKUMENTATION</b>	<b>39</b>
Energieerzeugungsanlagen		Abgeschlossene Promotionen in 2009	39
Energiespeicher für dezentrale und	24	Abgeschlossene Diplom Arbeiten in 2009	43
mobile Energiesysteme		Publikationsliste 2005 – 2009	45
		Patente und Schutzrechte	49
		Öffentlich geförderte Projekte	48
		Team	50
		Freizeitaktivitäten	52



**VORWORT****FOREWORD**

Das Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) wurde am 1. Januar 2009 als eigene Strukturseinheit der Universität Kassel gegründet und am 25. Juni 2009 durch die Hessische Ministerin für Wissenschaft und Kunst, Frau Eva Kühne-Hörmann feierlich eröffnet. Die Universität Kassel und das Institut für Solare Energieversorgungstechnik als Verein an der Universität Kassel haben wesentlich dazu beigetragen, dass sich in der Region Nordhessen die dezentralen Energieversorgungssysteme sowohl als wissenschaftliche Schwerpunkte als auch in der industriellen Umsetzung etabliert haben.

Die Gründung des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik folgt dieser Entwicklung und dem Bedarf nach einem Konzentrationspunkt für die Entwicklung komplexer innovativer Lösungen sowie deren Überführung in die industrielle Anwendung. Damit wird das KDEE Partner für industrielle und öffentlich geförderte Projekte sowohl aus dem Grundlagenbereich als auch aus dem anwendungsnahen Bereich. Es ist gestartet, um mit dem Fachgebiet Elektrische Energieversorgungssysteme (EVS) als Kern eine entsprechende Organisation zu entwickeln. Gleichzeitig ist das KDEE Mitglied des Forschungsverbunds Fahrzeugsysteme der Universität Kassel.

Die Gründung des KDEE dient der weiteren Stärkung der Zusammenarbeit der Universität mit Unternehmen sowie der internationalen Visualisierung ihrer Leistungsfähigkeit und ihres industriellen und wissenschaftlichen Umfelds auf dem Gebiet nachhaltiger Energieversorgungstechnik.

*The Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology (KDEE) was founded at January 1<sup>st</sup> 2009 as a structural unit within the University of Kassel and officially inaugurated in a ceremony at June 25<sup>th</sup> 2009 by Hessian Minister for Science and Art Eva Kühne-Hörmann. The University of Kassel and the Institute for Solar Energy Technology (ISET) as an association of the same university have significantly contributed to the establishment of decentralized energy generation systems not only as a scientific emphasis but also as industrial implementation in Northern Hesse.*

*The foundation of Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology (KDEE) follows such development and addresses the necessity of a point of convergence dealing with the development of complex and innovative device and system-related solutions, with special focus on the transference from the know-how developed in the university to the industrial field. Hence, the KDEE will figure as a partner for industrial and public-founded projects not only on the fundamental research level but also on industrial-oriented applications.*

*The KDEE was founded having as core the Department of Electrical Power Supply Systems (EVS) in the University of Kassel. At the same time, KDEE is member of the Research Association for Vehicle Systems in the University of Kassel.*

*Furthermore, the KDEE aims not only for the consolidation of the cooperation between the university and companies but also to promote international awareness regarding their capabilities and industrial-scientific environment in branch of sustainable power supply technology.*



*P. Zacharias*

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

Ansprachpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**SELBSTBILD KDEE**

*title*

**SELF-PERCEPTION KDEE**

Gruppenfoto  
Group Photo



Die Gründung des Kompetenzzentrums für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) folgt dem Bedarf nach einem Konzentrationspunkt für die Entwicklung innovativer energietechnischer Lösungen sowie nach einer wissenschaftlich-technischen Transferstelle, komplexe gerätetechnische und systemtechnische Lösungen, die an der Universität vorentwickelt wurden, in die industrielle Praxis zu überführen.

Leistungselektronische Stellglieder sind die flexibelsten und schnellsten für das Energiemanagement in derzeitigen und zukünftigen elektrischen Energienetzen. Ihre Konstruktion und Regelung erfordert spezielles Know-How, das im KDEE langfristig konzentriert und fortgeführt wird. Damit wird das KDEE Partner für industrielle und öffentlich geförderte Projekte sowohl aus dem Grundlagenbereich als auch für produktnahe industrielle Anwendungen.

*The foundation of Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology (KDEE) follows the necessity of a point of convergence dealing with the development of complex and innovative device and system-related solutions, with special focus on the transference from the know-how developed in the university to the industrial field.*

*Power electronics based converters are the most flexible and dynamic equipments for the management of energy in the actual and future electrical grid. Their construction and control require specialized knowledge, which will be concentrated and pursued on the long term. Hence, the KDEE will figure as a partner for industrial and public-founded projects not only on the fundamental research level but also on industrial-oriented applications.*

Ein zentrales Ziel ist es, die Anzahl der Arbeitsplätze im Sektor Dezentraler Energiesysteme in der Region Nordhessen bis 2020 auf 20.000 entsprechend der vom deENet durchgeföhrten Potenzialstudie zu steigern und so das Profil der Region in Richtung effizienterer Energieerzeugung und -verwendung weiter zu entwickeln.

Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist vorgesehen, ein DFG-Graduiertenkolleg einzurichten.

#### **Thematische Schwerpunkte des Zentrums**

- Erforschung und Entwicklung von neuen Systemelementen und Strukturen für die dezentrale Bereitstellung von elektrischer Energie in einem öffentlichen Versorgungssystem sowohl im Verbund als auch in isolierten Inselnetzen
- Entwicklung von Grundsatzlösungen für Geräte, Anlagen und Systeme zur dezentralen Bereitstellung von Strom und Wärme zur effektiven Nutzung aller ökonomisch sinnvollen Energieressourcen
- Erforschung und Entwicklung von Konzepten und technischen Lösungen für integrierte Lösungen zur gleichzeitigen Nutzung verschiedener Energieressourcen in Blockheizkraftwerken, PV-Solaranlagen, Brennstoffzellen mit und ohne Speichereinbindung
- Regelung und Betriebsführung von vernetzten Energielieferanten und Energiespeichern in mobilen Systemen und Bordnetzen
- Ausbildung hoch qualifizierter und promovierter Ingenieure der Energietechnik.

#### **Einbindung in die Universität Kassel**

Das Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik wird in der Universität Kassel eingebunden mit der

#### **Kernkompetenz**

**Geräteorientierte Energiesystemtechnik für die Nutzung Erneuerbarer Energien mit besonderem Schwerpunkt bei der Stromrichtertechnik in Hybridsystemen, im Verteilnetz und bei dezentraler Energiewandlung sowie mobilen Energieversorgungssystemen.**

*One main objective behind the referred activities is to support the increase of workplaces in the region of Northern Hesse to a level of 20,000 by 2020, according to the potential survey performed by deENet and the profile of the region regarding efficient energy generation and utilization.*

*In the field of the scientific community is aimed the development of a DFG Research Group from the KDEE.*

#### **Thematic emphasis of the Center**

- *Research and development of new system elements and structures for the decentralized provision of electric energy in the mains power supply not only in connected but also in island grids.*
- *Development of basic solutions for appliances, facilities and systems for the decentralized provision of electric power and heat in order to promote the effective utilization of all economically reasonable energy sources.*
- *Investigation and development of concepts and technical approaches for integrated solutions aiming the simultaneous use of diversified energy sources in combined heat and power plants (CHP), photovoltaic facilities and fuel cells with or without storage connection.*
- *Control and implementation of networked energy sources and storages in mobile systems and on-board power supplies.*
- *Training of highly-qualified and postgraduate engineers in the field of power engineering.*

#### **Involvement with the University of Kassel**

*The Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology is integrated in the University of Kassel as follows:*

#### **Core competence:**

***Appliance-oriented power systems technology for the use of renewable energy sources with special focus on the power converters technology for hybrid systems, distribution network, decentralized energy conversion and mobile power supply systems.***

Es wird in den Forschungsbereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz der Universität Kassel eingebettet (Bild 1). Ziel ist dabei gleichfalls die Einbindung in das Anwendungszentrum der Universität Kassel für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie.

*The Centre is incorporated within the Research for Renewable Energies and Energy Efficiency at the University of Kassel (see Fig. 1). Thereby is targeted the integration in the Application Center of the University of Kassel for the transference of research results to the industry.*



Aufbau der vernetzten Forschung im Bereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (FVee<sup>2</sup>) der Universität Kassel in einer Übersicht (FhG IBP PG Kassel: Fh Institut Bauphysik Projektgruppe Kassel; ZUB: Zentrum für Umweltbewusstes Bauen)

*Overview of the network Research for Renewable Energies and Energy Efficiency of the University of Kassel (FhG IBP PG Kassel: Fh Institut Bauphysik Projektgruppe Kassel; ZUB: Zentrum für Umweltbewusstes Bauen).*

Das Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik ist in folgende 4 Säulen gegliedert, die jeweils von einem Forschungsgruppenleiter koordiniert werden:

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

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

- **Stromrichtersysteme für drehzahlvariable Wechselstrom-Quellen**

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

- **Windkrafttechnik**

Triebstrangkonzepte und regelungstechnische Konzepte der Netz-anbindung von Generatoren mit variabler Drehzahl, Windkraftanlagen bis 1MW als systemtechnische Gesamtkonzepte

- **Leistungselektronische Konverter für industrielle Applikationen**

Nutzung des über 3 Jahrzehnte aufgebauten Know-hows in der Stromrichtertechnik zur Aufbereitung elektrischer Energie in industriellen Prozessen

*The Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology is the following four columns structured, which will be respectively coordinated by a research group leader:*

- **Power converter systems for DC-generators and storage**

*Conversion of DC-current into AC-current and reciprocally – for example in use of photovoltaic systems or electric-chemical storage like fuel cells or the connection of DC-systems with different voltage levels in stationary or in automobile applications.*

- **Power converter systems for AC-sources with variable speed**

*Coupling systems with variable frequency or strong variation around the grid-value to a fixed grid frequency like not only innovative combined heat and power generation plant but also speed variable hydroelectric and wind power plants.*

- **Wind power technology**

*Drive train concepts, control technique and grid connection of generators with variable speed, and wind power plants up to 1MW as general technical concept.*

- **Power electronics converter for industrial applications**

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

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

ERÖFFNUNG DES KDEE

*title*

INAUGURATION CEREMONY OF THE KDEE

Das „Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik“ (KDEE) der Universität Kassel wurde am 25. Juni durch Staatsministerin Eva Kühne-Hörmann, Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst (HMWK), Prof. Dr. Dieter Postlep, Präsident der Universität Kassel, Prof. Dr.-Ing. Josef Börzsök, Dekan des Fachbereichs Elektrotechnik/Informatik gemeinsam mit dem Leiter des KDEE Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias eröffnet.

*The Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology (KDEE) was officially inaugurated in June 25<sup>th</sup> by the Hessian Minister for Science and Art Eva Kühne-Hörmann, Prof. Dr. Dieter Postlep, President of the University of Kassel, Prof. Dr.-Ing. Josef Börzsök, Dean of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science and Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias, director of the KDEE.*

Die Universität Kassel und das Institut für Solare Energieversorgungstechnik als Verein an der Universität Kassel haben wesentlich dazu beigetragen, dass sich in der Region Nordhessen die dezentralen Energieversorgungssysteme sowohl als wissenschaftliche Schwerpunkte als auch in der industriellen Umsetzung etabliert haben.

Im Anschluss an die Eröffnungs- und Feierstunde wurde eine kleine Präsentation von Exponaten, Experimenten und Postern des KDEE sowie filmische Dokumentationen gezeigt.

*The University of Kassel and the Institute for Solar Energy Technology (ISET) as an association of the same university have significantly contributed to the establishment of decentralized energy generation systems not only as a scientific emphasis but also as industrial implementation in Northern Hesse.*

*Following the inauguration ceremony was performed an exhibition of significant experiments and developments of the group as depicted in the fotos.*



Ansprache zur Eröffnung des KDEE von  
Frau Staatsministerin Eva Kühne-Hörmann  
*Hessian Minister for Science and Art Eva  
Kühne-Hörmann opening speech*



Auditorium während der Eröffnungsansprache  
*Audience during the inauguration session*



Prof. Zacharias im Gespräch mit Frau Staatsministerin Eva  
Kühne-Hörmann und Uni-Präsident Prof. Postlep  
*Prof. Zacharias in talk with Hessian Minister for Science  
and Art Eva Kühne-Hörmann and President of Kassel  
University Prof. Postlep*

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

Titel

## **AUSZEICHNUNG FÜR KASSELER FORSCHER**

Forscher der Universität Kassel wurden auf der weltgrößten Fachmesse und Konferenz für Leistungselektronik, der PCIM (= Power Conversion Intelligent Motion), unter 150 Fachbeiträgen mit zwei Auszeichnungen geehrt.

Herrn Dipl.-Ing. Benjamin Sahan und seinem Team wurde der "Best Paper Award", der Preis für den besten wissenschaftlichen Fach-

title

## **DECORATION OF RESEARCHERS FROM KASSEL**

*Researchers from the University of Kassel received two distinguished awards at the world largest trade fair and conference on power electronics, the PCIM, among over 150 technical papers.*

*Dipl.-Ing. Mr. Benjamin Sahan and his team received the "Best Paper Award", for the publication with the title "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs", which deals with the*



Gewinner der Konferenz-Awards und PCIM-Fachbeirat und Organisationskomitee

*Winners of the conference awards together with the PCIM Advisory Board and Organization Committee*

beitrag, verliehen. Die Arbeit mit dem Titel "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs", beschäftigte sich mit der Untersuchung von hocheffizienten Silizium-Karbid (SiC) Halbleitern zum Einsatz in Solar-Wechselrichtern.

Der mit 1000€ dotierte Nachwuchspreis "Best Young Engineer Award" wurde an Dipl.-Ing. Herrn Michael Heeb verliehen. In seiner Veröffentlichung mit dem Titel "Carrier Transit Time Approximation for Prediction of PETT Oscillation in Power Diodes" stellt Herr Heeb eine neue Methode zur besseren Vorhersage und Simulation von Hochfrequenzschwingungen in Leistungshalbleitern vor. Die Arbeit ist das Ergebnis eines gemeinsamen Forschungsprojekts des Fachgebiets IEE-EVS von Prof. Zacharias und des Halbleiterherstellers Infineon Technologies AG.

Die beiden Wissenschaftler sind Mitarbeiter von Prof. Peter Zacharias, der das im Januar 2009 gegründete Kompetenzzentrum Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik (KDEE) leitet. Herr Zacharias ist hoch erfreut: „Das ist eine besondere Ehre und bestätigt den internationalen Stellenwert unserer Arbeit. Die Leistungselektronik ist eine Schlüsseltechnologie nicht nur für Solar-Wechselrichter, bei denen SMA Weltmarktführer ist, sondern steckt in ICE Zügen genauso wie in Elektroautos zur Steuerung der Motoren. Wir haben also noch viel vor! Mit dem KDEE wird diese Kernkompetenz zukünftig an der Universität weiter gestärkt“.



*Best Paper Award*

*investigation of highly efficiency semiconductors based on silicon carbide for the use in photovoltaic inverters.*

*Mr. Dipl.-Ing. Michael Heeb received the 1000€-worth "Best Young Engineer Award" with his publication "Carrier Transit Time Approximation for Prediction of PETT Oscillation in Power Diodes" about new methods for forecasting and simulating high frequency oscillations in power semiconductors. The work was result of a cooperative research program of the Department IEE-EVS of Prof. Zacharias and the semiconductor manufacturer Infineon Technologies AG.*



*Vortrag Michael Heeb  
Plenary Session Michael Heeb*



Benjamin Sahan (Mitte) von der Universität Kassel bei der Übergabe des Awards von PCIM-Organisator Udo Weller (links) und PEE-Herausgeber Achim Scharf (rechts).

*Benjamin Sahan (middle) from the University of Kassel receiving the PCIM Award from the Organizer Udo Welle (left) and PEE-Editor Achim Scharf (right)*

*Both scientists are employees under the supervision of Prof. Dr.-Ing. habil Peter Zacharias that leads the Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology. Mr. Zacharias was delighted, saying "That is a special honor and certifies the international recognition of our work. The power electronics is one key-technology not only for photovoltaic inverter, with which SMA world market leader is, but also is applied in ICE trains and likewise in electric automobiles for motor control. We have a lot in mind! Such core-competence will be further strengthening in the University with the KDEE."*

#### Ansprechpartner

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

#### Titel

**KOOPERATIONEN**

#### title

**COOPERATIONS**

Das KDEE wird aus der Universität Kassel heraus gemeinsam mit dem Fh Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) gerätetechnische Lösungen für die Netzintegration von Erneuerbaren Energiequellen entwickeln. Mit dem regionalen Netzwerk „deENet – Energie mit System“ ([www.deenet.org](http://www.deenet.org)) wird in enger Kooperation für den Transfer wissenschaftlich-technischer Ergebnisse aus der Universität in die Region gesorgt. Die bereits bestehenden langjährigen Kooperationen mit der SMA Solar Technology AG, e.on|Mitte, AREVA und POLYMA im Bereich der dezentralen Versorgungssysteme werden mit dem Wachstum des Zentrums 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 regional Profil bildende Element zu stärken. Die entstehenden Schutzrechte werden über die UniKasselTransfer GmbH vermarktet.

*The KDEE from the University of Kassel along with the Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology (IWES) will develop in cooperation device-related solutions for the grid integration of renewable energy sources. By means of the regional network deENet – Energy with System ([www.deenet.org](http://www.deenet.org)) will be carried out a close cooperation for the transference of scientific-technical results from the University to the region. The already existing long lasting cooperations with SMA Solar Technology AG, e.on|Mitte, AREVA and POLYMA in the branch of decentralized power supply systems will be expanded to additional partners following the expansion of the Center.*

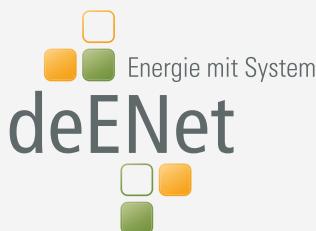
*The main goal is to significantly strengthen the emphasis of the power engineering sector in region towards the addition of technological value, with an increasing educational profile. The originating trade mark rights will be brought to the market by the UniKasselTransfer GmbH.*

Im Bereich der elektrischen energietechnischen Aufgabenstellungen in mobilen Anwendungen für die Bordversorgung und die Traktion wird die Zusammenarbeit mit Volkswagen AG in Baunatal in Verbindung mit dem Forschungsverbund Fahrzeugsysteme weiter ausgebaut.

In Verbindung von Forschung und Lehre werden in Kooperation mit den Unternehmen besonders befähigte Mitarbeiter dieser Unternehmen zur Promotion geführt und Themen aus diesen Unternehmen innerhalb des KDEE zur Promotion angeboten.

*In the branch of electrical energy technology for mobile applications, 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.*

*With respect of research and teaching activities, specially capacitated employees from these companies will be given the opportunity to perform a doctorate with themes proposed in cooperation with the KDEE.*



### Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e. V.

gegründet 2003 in Kassel

mehr als 100 Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Dienstleister

### **Network of Competence on Decentralized Energy Technology e. V.**

*founded in 2003 in Kassel*

*more than 100 companies, research institutes and service providers*

### Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e. V.



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

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

## Nationale und Internationale Kooperation



Eine Präsenz in den folgenden Organisationen ist bereits vorhanden:  
 European Academy of Wind Energy (EAWE) + Website oder Adresse  
 European Centre of Power Electronics (ECPE)  
 European Renewable Energy Centres Agency (EUREC)  
 European Power Electronic and Drives Association (EPE)  
 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

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

Durch die Festlegung des KDEE als Struktureinheit der Universität Kassel sind die Voraussetzungen gegeben, in Zukunft Mitglied des Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS) bzw. neu des Forschungs-Verbunds Erneuerbare Energien (FVEE) zu werden, der jeweils größere Institutionen der Forschung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien zu einem informellen Verbund zusammenfasst.

Die begonnenen Kooperationen mit den Universitäten von Padua (IT), Fortaleza (BR) und Tomsk (RU) werden ausgebaut, indem zunächst Wissenschaftlern und Studenten die Möglichkeit gegeben wird, Teile ihrer Ausbildung an anderen Standorten zu absolvieren und dann aus diesen Kontakten gemeinsame Studiengänge entwickelt werden.

## National and international cooperations

The association in the following organizations is already existent:  
 European Academy of Wind Energy (EAWE)  
 European Centre of Power Electronics (ECPE)  
 European Renewable Energy Centres Agency (EUREC)  
 European Power Electronic and Drives Association (EPE)  
 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Particularly by means of the EAWE exist cooperations with the Leibniz Universität Hannover and the Otto-von-Guericke University Magdeburg. Besides the regional and supra-regional engagement through the deENet e.V.; the KDEE is also anchored in the Association of German Engineers (VDI), German Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE) and the Electrical Technical Organization (ETG).

The agreement of maintaining the KDEE as an organizational unit within the University of Kassel opens the prospect of a future possible association in the Research Association Solar Energy (FVS), newly named Research Association Renewable Energies (FVEE), which combines large research institutions in the area of renewable energies in a informal network.

The already existing cooperations with the Universities of Padua (Italy), Fortaleza (Brazil) and Tomsk (Russia) will be expanded, with the exchange of scientists and students for training purposes possibly leading to the development of an eventual combined degree program.



Federal University of Ceará / Brazil



University of Salerno / Italy



Technological Educational Institute of Crete / Greece



Indian Institute of Technology Bombay



Tomsk Polytechnical University / Russia



Damascus University / Syria



Technological Educational Institute of Crete / Greece



Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Ansprechpartner

DIPL.-ING. BENJAMIN SAHAN

Titel

**LABOR-INFRASTRUKTUR /  
SERVICEANGEBOTE**

title

**LABORATORY INFRASTRUCTURE /  
SERVICE OFFERS FOR INDUSTRY****KDEE-EVS:**

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

**Auszug aus der Infrastruktur:**

- Regelbare DC-Konstanter bis 1000V/2000V und 96kW/64kW
- Testen netzgekoppelter Erzeugungsanlagen bis 400kVA
- Leistungs- und Wirkungsgradmessung/Bewertung mit erhöhter Präzision
- Evaluation von Netzkompatibilität und Auswirkungen mittels Frequenzanalysator
- Hochbandbreitige automatisierte Kommutierungszeile zur Charakterisierung von Leistungshalbleitern
- Maschinenhalle mit Belastungsmaschinen bis zu einer Leistung von 200kW bei 720Nm

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



Kommutierungszeile  
Commutation-cell

*For the implementation and construction of electronic components tests under laboratory conditions are necessary. For this the KDEE provides state of the art laboratories and equipment that meets all requirements for locally power supply technologies, control and operation management of linked energie suppliers and mobile systems. Furthermore investigation of all kind of engines is possible within the machine hall, that completes the range of power supply technology. So our infrastructure allows a great offer of service for industry that means a huge benefit for our co-operation partners.*

**Summary of our infrastructure:**

- Controllable DC power supply up to 2000V and 96kW
- Testing of grid connected generation units up to 400kVA
- Power and efficiency measurements and estimation with raised precision
- Evaluation of grid-compatibility using frequency analyzer
- Automated high bandwidth commutation cell for characterization of power semiconductors
- Machine hall with load machine up to a power of 200kW at 720Nm

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



AeroSmart Triebstrang  
AeroSmart  
Transmission

**In Kooperation mit Fraunhofer IWES:**

- Demonstrationshalle für Modulare Energieversorgungstechnologie „DeMoTec“ mit bis zu 500kVA
- Akkreditiertes EMV Test-Labor
- Stromrichterlabor mit PV-Simulator und Netzsimulator zur Durchführung von akkreditierten Tests nach der BDEW-Mittelspannungsrichtlinie
- Virtuelle Batterie mit ISET-LAB für Untersuchungen an Bleibatterien Verhalten in realen Energieversorgungssystemen
- Rapid-Prototyping Tools, Hardware-in-the-Loop Simulationen
- Mittelspannungsnetznachbildung
- Batterie-Laboratorium für automatische Tests und Monitoring mit bis zu  $\pm 1200A/60V$  Quelle / 1000A/50V Senke / 20V+-200A / 95V +/-300A
- PV-Test Labore und Utilized-Hybrid-Systeme
- Europäisches Labor-Netzwerk DERlab



DeMoTec Halle  
DeMoTec Hall

**In cooperation with Fraunhofer IWES:**

- Demonstration Centre for Modular Power Supply Systems Technology DeMoTeC up to 500kVA
- Accredited EMC Test Laboratory
- Inverter laboratory with PV-Simulator and grid simulator for Accredited tests according to Grid code BDEW-Mittelspannungsrichtlinie
- Virtual Battery with ISET-LAB to investigate Lead Acid Battery Performance in real Power Supply Systems
- Rapid Prototyping Tools, Hardware in the Loop Simulation
- Medium Voltage Line Simulator
- Battery Laboratory for Automatic Testing and Monitoring up to  $\pm 1200A/60V$  Source/ 1000A/50V Sink / 20V+-200A/96V +/-300A
- PV Test Labs ~15kWp and Utilized Hybrid Systems
- European Lab network DER- LAB

Ansprechpartner

PROF DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**FACHGEBIET ELEKTRISCHE  
ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME**

title

**CHAIR OF ELECTRIC POWER SUPPLY  
SYSTEMS**

Lehre und Forschung im Fachgebiet sind ausgerichtet auf Anlagen und Systeme zur elektrischen Energieversorgung und sowie auf die Entwicklung leistungselektronischer Bauelemente und Baugruppen für solche Systeme. Sie umfassen dabei die Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen (z. B. Sonne, Kleinwasserkraft, Biogas und Wind) sowie leistungselektronische Wandler in mobilen Anwendungsbereichen. Besonders enge Zusammenarbeit besteht mit dem 1988 durch den damaligen Fachgebetsleiter

*Teaching and research at the department are focused on plants and systems for electrical energy supply and on the 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, micro-hydro power plant, biogas and wind) and power electronic converters for mobile applications. A special cooperation exists with the "Institute for Solar Energy Technology" (ISET e.V.), today: Fraunhofer IWES*

Prof. Kleinkauf gegründeten „**Institut für Solare Energieversorgungstechnik**“ (ISET e.V.), heute: Fraunhofer IWES (Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik).

Bei einem Mitarbeiterstamm von derzeit ca. 25 Personen von EVS und KDEE hat sich auf dem Gebiet der Energieversorgung insgesamt ein leistungsfähiger Forschungsschwerpunkt an der Universität Kassel entwickelt. Dadurch können sowohl gute Forschungsmöglichkeiten als auch breitgefächerte Studieninhalte geboten werden.

(Institute for Wind Energy and Energy System Technology), which was founded 1988 by the former head of the department Prof. Kleinkauf.

With currently about 25 employees EVS and KDEE form a powerful research focus on the topic energy supply systems at the University of Kassel. Thereby good research possibilities as well as widespread study contents can be proposed.



**Institut für Elektrische Energietechnik  
Elektrische EnergieVersorgungsSysteme  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias**

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

▪ **Grundlagen der Energietechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias

▪ **Leistungselektronik**

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias

▪ **Leistungselektronik für Mechatroniker**

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias

▪ **Diskrete Schaltungstechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Zacharias

▪ **Leistungselektronik zur Energieaufbereitung in dezentralen und regenerativen Energieversorgungssystemen**

Dr.-Ing. M. Meinhardt, SMA Solar Technology AG

▪ **Regelung elektrischer Energieversorgungseinheiten**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Nutzung der Windenergie**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Regelung und Netzintegration von Windkraftanlagen**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Grundlagen der Elektro- und Messtechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Energiewirtschaftliche Aspekte der Energietechnik I und II**

Dr.-Ing. H. Bradke, FhG-ISI Karlsruhe

▪ **Seminar Netzintegration dezentraler Einspeisesysteme**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Seminar Windkrafttechnik**

Prof. Dr.-Ing. habil. S. Heier

▪ **Praktikum Leistungselektronik / Energietechnisches Praktikum**



**Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Zacharias**  
Leiter des Fachgebiets



**Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier**  
Leiter Windkrafttechnik

Ansprachpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

## DAS KDEE IST MITGLIED DES FORSCHUNGSVERBUNDS FAHRZEUGSYSTEME

title

## KDEE IS MEMBER OF RESEARCH COOPERATION "VEHICLE SYSTEMS" (FAST)

Mit dem Forschungsverbund Fahrzeugsysteme als interdisziplinärem Verbund wird das Ziel verfolgt, die Region Kassel als Forschungsstandort zu stärken.

Das FAST nimmt entsprechend seiner Aufgabenstellung als wissenschaftliche Einrichtung fächerübergreifende und interdisziplinäre Aufgaben in Forschung und Lehre, Studium und Weiterbildung, zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und zur Förderung der Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen und Industrieunternehmen auf dem Gebiet der Fahrzeugsysteme wahr.

Hierzu gehören insbesondere die Förderung einer organisierten interdisziplinären Forschung in übergreifenden Projekten, die Schaffung einer partnerschaftlichen Kooperationsplattform für gemeinsame Forschung von Hochschulen, Industrie und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung hochqualifizierter Nachwuchskräfte für die Fahrzeugindustrie, die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Zusammenfassung der interdisziplinären fahrzeugtechnischen Forschungsaktivitäten der beteiligten Institute.

*The interdisciplinary research cooperation "vehicle systems" pursues the goal to strengthen the region Kassel as an important research location.*

*The FAST is interdisciplinary involved into research and development and teaching and studies to promote young academics. It also serves as a link between the research institutions and the industry within the field of vehicle systems.*

*This embraces the promotion and organization of interdisciplinary research and projects and the creation of a cooperation platform for research in universities and highly qualified young engineers.*



**VORWORT – ENERGIESYSTEME**

Die gegenwärtige Entwicklung in der Energietechnik ist gekennzeichnet durch eine weiter zunehmende Vernetzung. Das heißt, Systemkomponenten unterschiedlichster Zweckbestimmung und Leistungsgröße werden zusammengeführt und erweitern die Basis zur Nutzung von erschließbaren Energieressourcen. Diese jedoch haben unterschiedliche Eigenschaften von der Verteilung in der Fläche bis zur jahreszeitlichen Verfügbarkeit und 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.

**FOREWORD – ENERGY SYSTEMS**

*The current trend in power technology is characterized by an increasing integration. This means that system components for different purposes and power levels are being linked to each other and thus expand the basis for usable and sustainable energy resources. However, these have different characteristics in terms of local distribution and volatility. The most important tasks in this area are further development of standards for the interaction of system components, the integration of information and communication technology as well as of energy technology components to control the power flow stabilising the grid.*

Ansprechpartner

DIPL.-ING. BENJAMIN SAHAN

Titel

**DREHZAHL VARIABLE****BLOCKHEIZKRAFTWERKE**

Blockheizkraftwerke verfügen über eine hohe Brennstoffausnutzung und können zukünftig einen wichtigen Beitrag für die Stabilität und Effizienz der Energieversorgungsnetze leisten.

BHKWs sind prinzipiell in der Lage die Schwankungen regenerativer Stromerzeuger dezentral auszugleichen. Um schnell und flexibel auf die relativ starren Anforderungen der Übertragungsnetze reagieren zu können, empfiehlt sich ein drehzahlvariabler Betrieb. Dieser kann durch den Einsatz von leistungselektronischen Stellgliedern ermöglicht werden. Daraus ergeben sich folgende Systemvorteile:

- Erhöhung des Teillastwirkungsgrades
- Optimale Auslegung von Motor-Generatorsystem
- Einsatz von innov. Generatortechnologien (z.B. Permanenterregt)
- Kein mechanisches Getriebe (bei hochtourigen Turbinen)
- Geringere Geräusch- und Abgasemissionen
- Reduktion der elektro-mechanischen Belastung, v.a. bei Netzfehlern (Fault-Ride-Through)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Verbesserung der Power Quality (z.B. Oberschwingungskompensation, Schieflast)

title

**VARIABLE SPEED DISTRIBUTED CHP UNITS**

*Combined heat and power (CHP) generation units allow optimal utilization of fuel and provide an important contribution to stability and efficiency of the future power grid.*

*As a matter of principle these devices are able to balance fluctuations of renewable generators locally. To react fast and flexible to the quite fixed requirements of the transmission grid a speed variable operation is recommended. Using powerelectronic systems this operation is possible so the following benefits can be reached:*

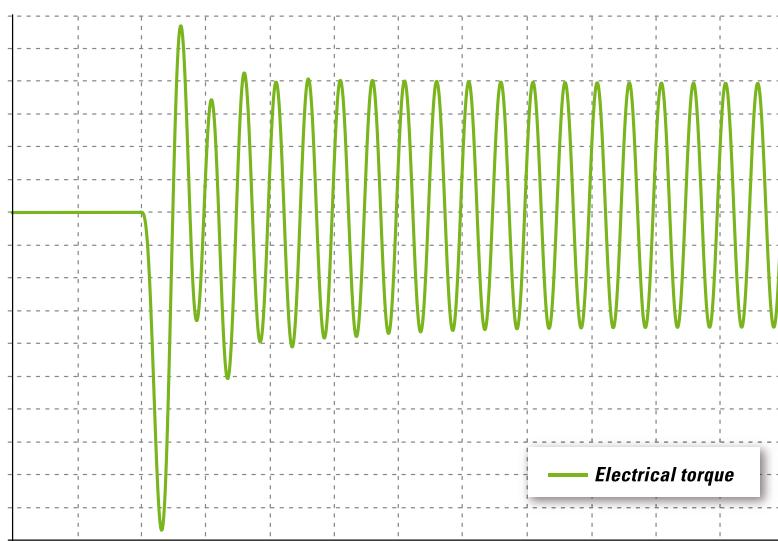
- *Boost of the partial load efficiency*
- *Optimized design of motor-generator*
- *Use of innovative generatortechnology (e.g. permanent excited)*
- *No mechanical gearbox (for high-speed rotating turbines)*
- *Low noise- and exhaust emmission*
- *Reduction of electromechanic loading mainly during grid faults (Fault-Ride-Through)*
- *Uninterruptible power supply*
- *Improvement of power quality (e.g. harmonic compensation)*



Beispiel für ein Motor-Blockheizkraftwerk  
Example for a motor CHP unit

Als zukünftige Arbeitsschwerpunkte des KDEE ergeben sich daraus das Energiemanagement und die Betriebsführung dezentraler Generatoren sowohl als einzelne Einheiten als auch im Verbund. Beim Leistungselektronik-Generatorsystem liegt die Kompetenz des KDEE neben dem Systemdesign auf der langjährlichen Erfahrung in der Wirkungsgrad-Kosten-Optimierung.

*So future key aspects of activity of the KDEE are the energy and operation management of locally generators both in a single unit and in composite. Though the expertise of the KDEE lies in power electronic generator systems as well as in system design with long-time research of efficiency-cost-optimization.*



Direkt gekoppelter Synchrongenerator und Inneres Drehmoment bei einem unsymmetrischen Netzfehler

*Directly coupled synchronous generator and inner torque at unsymmetrical grid fault*

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

## **LEISTUNGSELEKTRONISCHE WANDLER FÜR AUTOMOTIVE ANWENDUNGEN**

Lösungen für den bidirektionalen Anschluss elektrochemischer Speicher an das Niederspannungsnetz sind in einem weiten Leistungsbereich aus der Nutzung dezentraler Energieressourcen bekannt. Von besonderem Interesse sind hier einfache und robuste Konzepte, die Potenzialsprünge an den Batterien vermeiden. Hierfür gibt es die Möglichkeit, Transformatoren zur Isolation einzusetzen. Jedoch gebührt transformatorlosen Lösungen mit gleichen Sicherheits-Features großes Interesse, da sie eine geringe Masse der Konverter in Verbindung mit hohen Wirkungsgraden ermöglichen.

Im Bereich Automotive Applikationen befasst sich das KDEF im Rahmen des Forschungsverbundes Fahrzeugsysteme (FAST) weiterhin mit leistungselektronischen Wandlern für:

### **Einbindung von Speichern in Netze (DC oder AC)**

- Lade- und Entladegeräte

### **Prinziplösungen für Konverter**

- Neue Topologien
- Konverter für Spezialmaschinen
- Hocheffiziente Wandler („Weltrekord“ 2008 ISET, UniK, SMA: 99% Wechselrichter-Wirkungsgrad)

### **Hochtemperatur-Elektronik/ Silizium-Karbid (SiC)**

### **EMV gerechte Lösungen für Leistungselektronik-Batterie-Systeme**

### **Bidirektionale trafolose Wandler für hohe Spannungs-Übersetzungsverhältnisse (DC-DC, DC-AC)**

### **Kontaktlose Energieübertragung**

title

## **POWER ELECTRONIC SYSTEMS FOR FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS**

*Technical solutions for the bidirectional connection of electrochemical energy storages to the low voltage grid are known by usage of distributed energy generators.*

*Of special interest are concepts which are cost-efficient, robust and prevent potential jumps on the battery. Transformerless power converters with the same safety features as isolation transformers are very interesting because they have high efficiency and small size.*

*In the area of automotive applications KDEF deals within the „Forschungsverbundes Fahrzeugsysteme (FAST)“ with power electronic converters for:*

### **Integration of storage units in grids (DC or AC)**

- Charging and feed-in units

### **Principal solutions for power electronic converters**

- New topologies
- Converter for special machines
- Ultra-high efficiency inverters (“World record” 2008 ISET, UniK, SMA: 99% inverter efficiency)

### **High temperature electronics/Silicon-carbide (SiC)**

### **EMC for power electronics/battery system**

### **Bidirectional transformerless converters for high voltage gain (DC-DC, DC-AC)**

### **Contactless energy transmission**

### **REFERENZEN**

- Brabetz, L. Ayeb, M.; Zacharias: Leistungselektronik in der Fahrzeugarchitektur. E-MOTIVE Expertenforum „Elektrische Fahrzeugantriebe“ 09./10.09.2009 in Hannover
- P. Zacharias, „Randbedingungen und technische Konzepte für die netzgekoppelte Ladung und Entladung von Batterien in Fahrzeugen“ Braunschweiger Symposium Elektrische Leistungsboardnetze und Komponenten in Straßenfahrzeugen (ELKS)



## Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

## Titel

**BEITRÄGE ZUR NETZREGELUNG DURCH DE-ZENTRALE ENERGIEERZEUGUNGSANLAGEN**

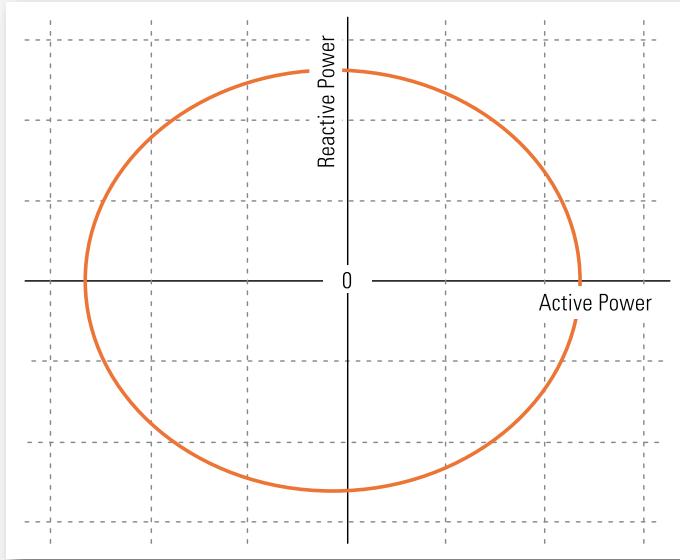
## title

**DISTRIBUTED GRID CONTROL BY DECENTRALISED ENERGY GENERATION UNITS**

Die Nutzung von Stromrichtern in der öffentlichen Energieversorgung wird bereits seit vielen Jahren vorangetrieben und hat zwischen einen hohen technischen Entwicklungsstand erreicht. Der dezentrale Einsatz von Stromrichtern bietet vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zur Qualitätsverbesserung der an den Kunden abgegebenen Energie sowie zur flexiblen Leistungsflusssteuerung in Netzen. Energieaufbereitungsanlagen für erneuerbare Energiequellen sind häufig über Puls-Wechselrichter mit dem Netz verbunden. Dadurch besteht prinzipiell die Möglichkeit einer Mehrfachnutzung dieser Anlagen, von der bereits bei einigen Produkten Gebrauch gemacht wird. Wegen der kleineren und mittleren Nennleistungen derartiger Anlagen sind insbesondere Anwendungen zur Qualitätsverbesserung der Netzspannung und zur Verringerung der Blindstrombelastung von Interesse.

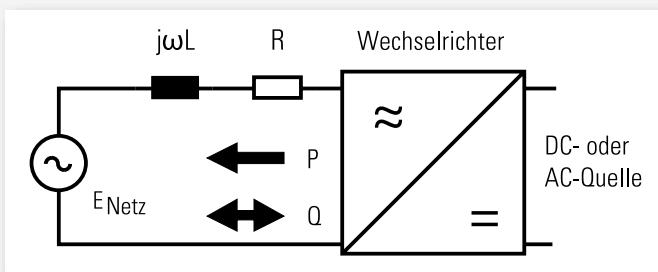
*The use of power electronic inverters for the public energy supply is advancing for many years and becomes more and more sophisticated. The distributed approach of using inverters open versatile possibilities for enhancing power quality of the energy provided to the customer and for a flexible power flow control in electric grids. Power conditioning units are often connected to the grid by pulse width modulated inverters. In principle this enables a multifunctional purpose of assets which is already being exploited in some products.*

*Due to the medium power rating of those distributed assets focus is on power quality enhancement, especially of the grid voltage and reduction of reactive power supply.*



Wirk-Blindleistungsdiagramm eines Wechselrichters

*Active and reactive power diagram of an inverter*



Elektrisches Netz mit vereinfachtem Ersatzschaltbild und angeschlossenem Wechselrichter zur Netzeinspeisung

*Simplified electric grid model and connected inverter for feed-in*



#### REFERENZEN

- P. Zacharias "Decentralised Energy Distribution" 13<sup>th</sup> International European Power Electronics Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, September 2009 (invited)
- P. Zacharias „Beiträge zur Netzregelung durch dezentrale Energieerzeugungsanlagen“ auf der ETG-Fachtagung „Leistungselektronik in Netzen“ am 27.Okttober 2009
- P. Zacharias: Power Quality: Impact of Distributed Generation and Future Network Structure. Power Quality Symposium TU Eindhoven, May 2007

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**ENERGIESPEICHER FÜR DEZENTRALE  
UND MOBILE ENERGIESYSTEME**

title

**ENERGY STORAGE FOR DISTRIBUTED AND  
MOBILE ENERGY APPLICATIONS**

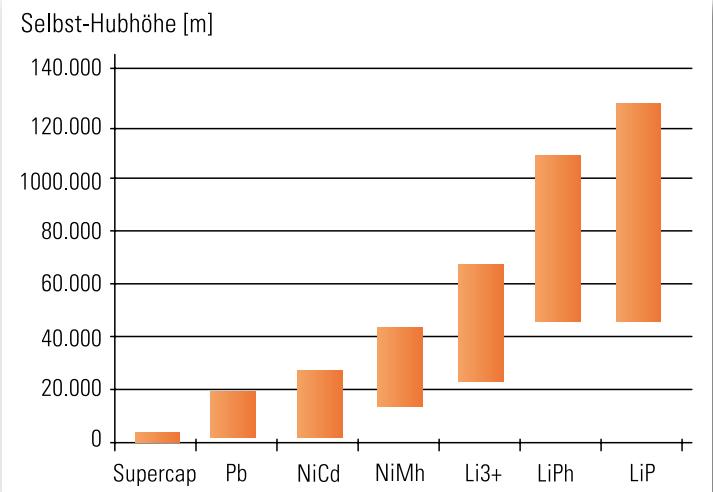
In elektrischen Energieversorgungssystemen ohne Speicher müssen Angebot und Nachfrage zu jedem Zeitpunkt ein Gleichgewicht bilden. Dies kann man durch Beeinflussung auf der Angebots- oder der Nachfrageseite, oder ein Management beider Seiten erreichen. Dies stößt – je nach Energieressource und Anwendung – auf Grenzen, welche dann den Einsatz von Speichern interessant machen. Speicher gehören zu den teuersten Investitionsgütern in der Energietechnik, so dass man ihre Größe möglichst gering hält. Dies kann man durch intelligente Systemsteuerung (z. B. durch Tarife, direkte Steuerungseingriffe etc.) oder durch hocheffiziente Wandler für das Speichermanagement erreichen. Insbesondere in mobilen Anwendungen ist die effiziente Energiewandlung zur Systemeinbindung der Speicher wesentlich. Die Dichte der gespeicherten Energie ist vergleichsweise gering (derzeit z. B. maximal 0,22kWh/kg bei Batterien im Vergleich zu 10kWh/kg bei Benzin). Das KDEE befasst sich mit der Entwicklung von Energiewandlern zur Einbindung elektrochemischer Speicher in stationäre und mobile Energiesysteme einschließlich elektrischer Fahrzeuge, wie z. B. die Stützung von Bordnetzen durch Superkondensatoren oder die Netzanbindung von Batterien. Jedes Prozent an zusätzlicher Effizienz führt zu einer Vergrößerung der Reichweite oder Einsparung an Speichergewicht und Kosten. Nachfolgendes Bild soll die Problematik, wie sie gerade im mobilen Bereich besteht veranschaulichen. Wenn man bei Annahme einer konstanten Erdbeschleunigung von 1g die maximale Hubhöhe errechnet, auf die sich eine Batterie bei einem Wirkungsgrad von 100% heben könnte, kommt man auf einen Wert, der unabhängig vom Speichervolumen charakteristisch für eine Batterieart ist.



Leistungselektronischer Wandler für Supercaps  
( $U_{max} = 32V$ ,  $I_k = 16kA$ )

*Power electronic converter for supercaps  
( $U_{max} = 32V$ ,  $I_k = 16kA$ )*

*In electrical power systems without storage supply and demand must form a balance at any time. This can be achieved through impact on the supply or demand side, or a management of both sides. These encounters on borders depending on resource and energy use, which will make the use of saving interesting. Storage are among the most expensive capital equipment in energy technology, so that their size as small as possible continues. This can be achieved through intelligent system control (e.g. through tariffs, direct control interventions, etc.) or through high-efficiency converters for the storage management. Especially in mobile applications, the efficient energy conversion system for the integration of the memory is essential. The density of the stored energy is relatively low at present (for example, now 0.22kWh/kg with batteries as compared to 10kWh/kg gasoline. The KDEE deals with the development of energy converters to integrate electrochemical storage into stationary and mobile energy systems including electric vehicles, such as the support of board systems by super capacitors, or the network connection of batteries. Every percent of extra efficiency leads to an increase in the range of storages or saving weight and costs. Subsequent image demonstrates the issues, especially in the mobile sector. If we calculate assuming a constant gravitational acceleration of 1g the maximum lift to which a battery could lift a 100% efficiency, one arrives at a value that is independent from the storage volume for a typical battery type.*



Ideelle maximale Selbst-Hubbhöhe für verschiedene Batterietechnologien (Doppelschichtkondensatoren (Supercap) sowie Sekundärelemente basierend auf Blei, Nickel-Cadmium, Nickel-Metall-Hydrid, Lithium-Ionen-Technik, Lithium-Phosphat und Lithium-Polymertechnik) Datenquelle: <http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>  
*Ideal maximum self-lift for various battery technologies (double-layer capacitor (Supercap) and secondary elements based on lead Nickel-cadmium, nickel-metal-hydride, lithium-ion technology, lithium-phosphate and lithium-polymer technology)*  
*Source: <http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>*

**VORWORT – LEISTUNGSELEKTRONIK****FOREWORD – POWER ELECTRONICS**

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

*Power electronic converters are the most dynamic and flexible systems for energy management in the future power grids. Its design and control requires special know-how which is being concentrated and further developed at KDEE. The impulse comes from efficient energy usage as well as special requirements of renewable energy generators.*

*New power conversion concepts allow to make a generic use of them. The provided energy at the generators output usually does not comply with the standardised requirements of energy supply in static and mobile applications.*

*Power electronic converters allow conditioning of energy with high flexibility and efficiency. This enables the integration of different energy sources and storages in a common system.*

Ansprechpartner

SAMUEL VASCONCELOS ARAÚJO, M.SC.

Titel

**SIC LEISTUNGSHALBLEITER**

*title*

**SIC POWER SEMICONDUCTORS**

Die Nutzung von Silizium-Karbid (SiC) ist eine der interessantesten Möglichkeiten bei den so genannten "Wide Band-Gap" Materialien. Hervorzuhebende Eigenschaften sind die sehr hohe elektrische Durchschlagfeldstärke, die sehr kleine spezifische Chip-Widerstände aufgrund des dünneren und kürzeren Drift-Layers auch bei höheren Spannungen ermöglicht.

Sehr schnelles Schalten wegen der erhöhten gesättigten Elektronen-Driftgeschwindigkeit, ist eine weitere interessante Charakteristik. Ferner erlauben der erhöhte Bandabstand und der geringe thermische Widerstand von Transistoren aus diesem Material den Betrieb bei höheren Temperaturen, was wiederum zu einer Verringerung des Kühlungsaufwandes führt

Schottky-Leistungsdioden aus SiC sind bereits seit einigen Jahren im Markt und werden in Anwendungsbereichen wie Schaltnetzteilen und photovoltaischen Systemen intensiv eingesetzt. Der Hauptgrund dafür liegt in der Senkung der Schaltverluste durch das Fehlen des "Reverse-Recovery" Effekts. Es sind aber auch signifikante Entwicklungen in dem Bereich von SiC Leistungsschaltern zu beobachten. Mit unipolaren Bauteilen sind Sperrspannungen bis 10kV möglich, obwohl der Hauptfokus der Entwicklungen im Bereich von 1kV bis 2kV liegt.

*Silicon carbide (SiC) is perhaps the most interesting technology among wide band gap materials. One significant feature is the very high electric breakdown field that allows thinner and shorter drift layer structures resulting in very low specific on-state resistance values even at higher blocking voltages. By means of the superior saturated electron drift velocity a faster dynamic behavior can be achieved. In addition, the high band gap energy and superior thermal conductivity enable operation at higher junction temperatures and significant reduction in the cooling expenditure.*

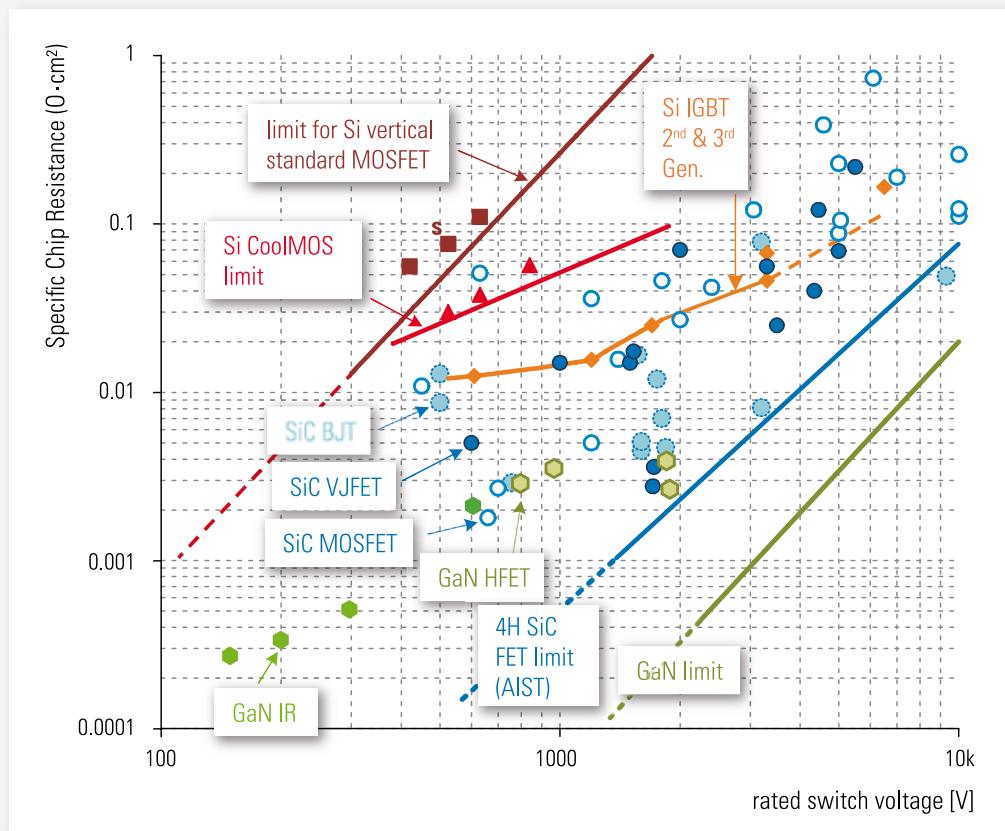
*SiC power diodes have been for some years available in the market and attracted significant interest in applications like power supplies and photovoltaic systems, where it was possible to reduce switching losses due to the absence of the reverse recovery effect. In recent years was placed an increasing research and development effort towards power switches based on SiC by several manufacturers around the globe. Unipolar devices are by far the most common approach for voltage levels up to almost 10kV, though special focus is for the time being given in voltage classes around 1kV.*

Untersuchungen im Labor wurden mit verschiedenen Mustern von Herstellern durchgeführt.

Auf Bauteil-Niveau sind statisches und dynamisches Verhalten mittels einer Kommutierungszelle, die besonders für schnelle Schaltvorgänge ausgelegt ist, unter verschiedenen Bedingungen analysiert worden.

Basierend auf der durchgeführten Charakterisierung der Halbleiter, wird mit einer Verlustberechnung die Auswahl und der Entwurf von geeigneten Umrichtern unterstützt. Verschiedene Schaltung, einschließlich DC-DC Wandler und Wechselrichter mit SiC Halbleitern, sind bis zu einer Leistung von 17kW aufgebaut und getestet worden. Hohe Wirkungsgrade von über 99% und ein Betrieb mit höheren Schaltfrequenzen, haben die Potenziale neuer SiC-Technologien zur Entwicklung von effizienten und kompakten Wandlern nachgewiesen.

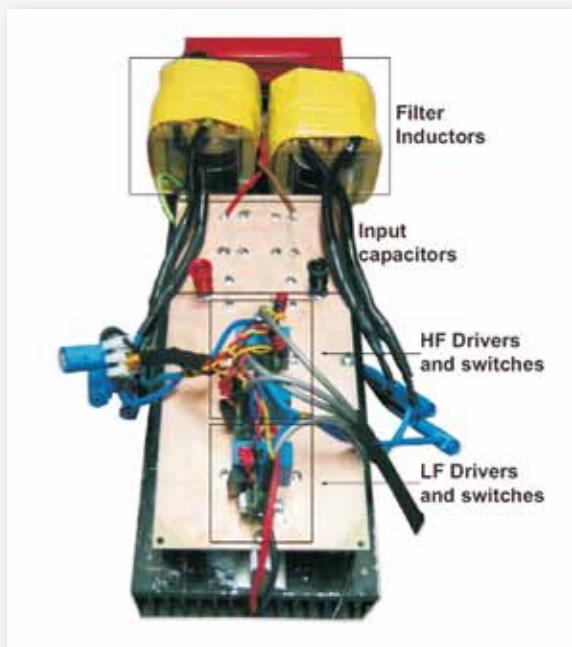
*Investigations in local laboratories were performed in two fields with different engineering samples provided by manufacturers. On the device level, the static and dynamic behaviors under different conditions were tested in a commutation-cell specially designed for very fast switching transients. Based on the obtained characterization, a calculation of the losses was employed to support the choice and design of suitable converter topologies. Several circuits including DC-DC converters and inverters employing semiconductors based on SiC for a power range up to 17kW were investigated. Values of efficiency higher than 99% were attained and operation at high switching frequency was also investigated, leading to indications that the technology may allow not only efficient but also compact solutions in the near future.*



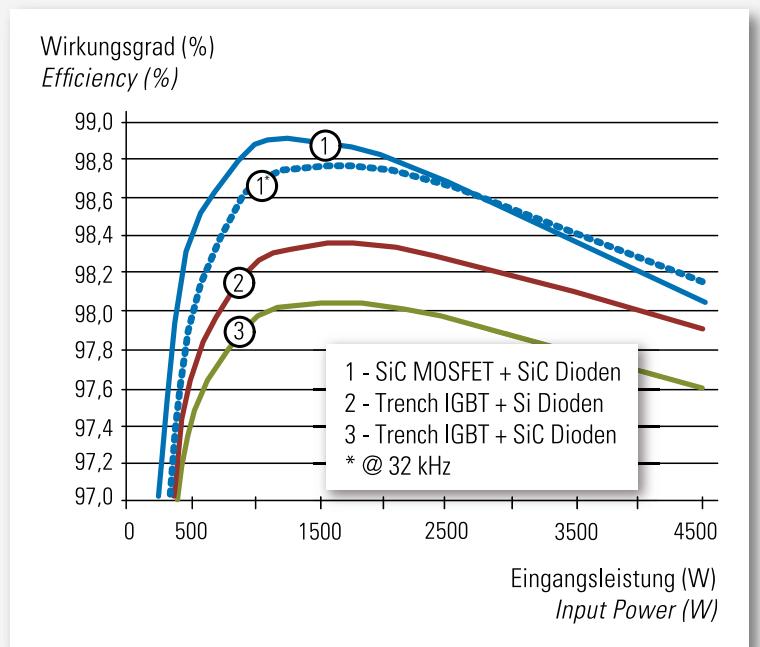
Übersicht spezifischen Chip-Widerstand für verschiedene Halbleiter Technologien  
Overview of specific chip resistance for different semiconductor technologies

#### REFERENZEN

- S. V. Araújo and P. Zacharias, "Analysis on the potential of Silicon Carbide MOSFETs and other innovative semiconductor technologies in the photovoltaic branch", in Proc. 13<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1 – 10, September, 2009.  
 B. Sahan, S.V. Araújo, Th. Kirstein, L. Menezes and P. Zacharias, "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs", in Proc. European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM), May, 2009.



Prototype eines einphasigen Wechselrichters mit SiC Bauteilen  
Prototype from a single-phase inverter with SiC components



Ansprechpartner  
DIPL.-ING. BENJAMIN SAHAN

Titel  
**LEISTUNGSELEKTRONISCHE WANDLER MIT SELBSTLEITENDEN SIC-JFETS**

*title*  
**POWER CONVERTERS SUITABLE FOR NORMALLY-ON SIC-JFETS**

Siliziumkarbid (SiC) als Halbleiterbasismaterial für die Leistungselektronik bietet ausgezeichnete Eigenschaften und ermöglicht die Fertigung von Leistungshalbleitern mit sehr guten dynamischen Eigenschaften auch bei hohen maximalen Sperrspannungen und Sperrsichttemperaturen. Daraus ergeben sich einerseits völlig neue Möglichkeiten, was Wirkungsgrade, Flexibilität und Systemtechnik angehen aber fordern auch geradezu Paradigmenwechsel im Aufbau leistungselektronischer Wandler für die Energieversorgungstechnik.

Aufgrund ihrer relativ einfachen Struktur verspricht man sich besondere Vorteile von vertikal strukturierten SiC-Junction Field Effect Transistoren (JFETs). Dabei ist zu beachten, dass diese mit einer negativen Gate-Spannung ausgeschaltet werden müssen und im Allgemeinen selbstleitend sind ("Normally-on"). Dies widerspricht

*Silicon Carbide (SiC) as a semiconductor material offers excellent properties for power converter design and enables manufacturing power semiconductors with very good dynamic performance even at high maximal breakdown voltage and junction temperature. On the one hand, this allows completely new prospects in terms of efficiency, flexibility and systems design but on the other hand it also calls for a paradigm shift in power electronics systems.*

*As for SiC transistors, the vertical JFET is considered favorable because it has a relatively simple structure. Nevertheless, specially tailored power electronic architectures are required for this technology, as the device is inherently normally-on and has quite different characteristics when compared with conventional semiconductors; namely pinch-off voltage, gate drive units and transient characteristics. Normally-on devices contradict the common*

jedoch der heutigen Konvention nur selbstsperrende Schalter (IGBTs, MOSFETs) in der Leistungselektronik einzusetzen, da durch sie eine höhere Betriebssicherheit gewährleistet sei. Daraus ergibt sich die Forderung nach neuen Schaltungskonzepten, die speziell auf diese Technologie zugeschnitten sind.

Zunächst wurden SiC-JFETs (1200V, 8A) von Infineon mit Hilfe einer Kommutierungszeile getestet (siehe Bild 1) und charakterisiert. Im Vergleich zu einem State-of-the-Art Trench-IGBT wurden bis zu 60% geringere spezifische Schaltverluste gemessen (Bild 2).

Als geeignete Schaltungskonzepte kommen solche mit Strom- oder Impedanzwischenkreis in Frage, sowie Schaltungen mit einer indirekten Reihenschaltung von selbstleitenden (HF) und selbstsperrenden (NF) Schaltern, wie z.B. die Neutral-Point-Clamped Topologie.

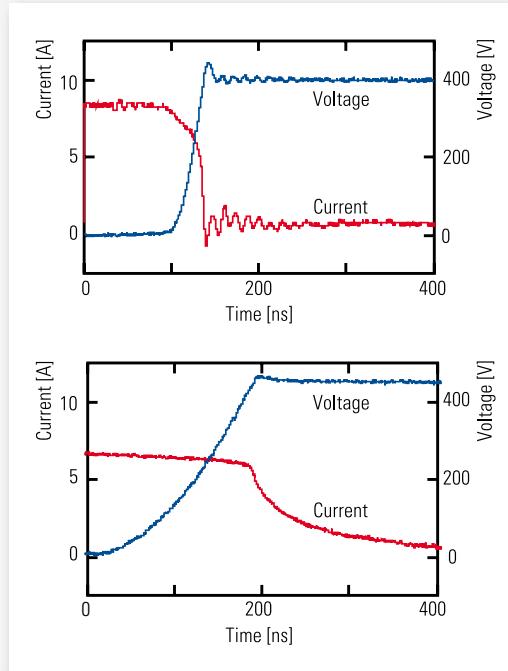
Neben der theoretischen Machbarkeit solcher Systeme wurde ebenso die technische Realisierung anhand eines Ausführungsbeispiels unter Beweis gestellt (Bild 3). Die vorgeschlagene Wechselrichter-Topologie kommt mit nur einem HF-Schalter aus, der als selbstleitender SiC-JFETs ausgeführt sein kann. Durch die daraus resultierende hohe Chip-Ausnutzung lassen sich mögliche Kostennachteile von SiC leicht kompensieren, was schließlich zu einer exzellenten Gesamt-Performance führte. Unter anderem konnte unter Laborbedingungen bereits ein sehr hoher Wirkungsgrad von 99% erreicht werden.

*paradigm to only use normally-off semiconductors (MOSFET, IGBT) because they are supposed to ensure a higher operating reliability. This calls for specially tailored topologies that haven been presented and discussed in this project.*

*As a first step SiC-JFETs (1200V, 8A) from Infineon were tested and characterized in a commutation cell (see Fig. 1). In comparison with a state-of-the art Trench-IGBT the measured specific switching losses were about 60% less (see Fig. 2).*

*Suitable topologies feature an indirect series connection of fast switches (SiC) with possibly high voltage stress and conventional (Si) switches with lower voltage stress or low switching frequency (e.g. NPC). This can provide a measure to avoid short circuit paths in case of failure even when the HF switch is normally-on. Current Source Inverter topologies or those derived from the Z-Source Inverter present other viable options.*

*Finally, a 1kW laboratory prototype inverter was constructed to further evaluate the performance of SiC-JFETs. A fairly high efficiency of 99% using just one JFET was measured which gives a positive outlook for its future application in power electronics systems.*



Strom-Spannungskurven SiC-JFET vs. IGBT  
Current and voltage waveforms of SiC-JFET vs. IGBT at Turn-off



Versuchsaufbau 1kW-Wechselrichter mit SiC-JFET  
Laboratory prototype of 1kW inverter with SiC-JFET

## REFERENZEN

- S. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias, R. Rupp, X. Zhang, "Application of SiC Normally-On JFETs in Photovoltaic Power Converters: Suitable Circuits and Potentials", Proceedings of the International Conference on Silicon Carbide and Related Materials, ICSCRM'09, October 2009
- B. Sahan, S. Araújo, T. Kirstein, L. Menezes, P. Zacharias "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs" PCIM Nuremberg 2009
- Zacharias, P.; Menezes, L. M.; Friebe, J.: 2 New Topologies for Transformerless Grid Connected PV-Systems with Minimum Switch Number. PCIM Nuremberg 2008

Ansprechpartner

SAMUEL VASCONCELOS ARAÚJO, M.SC.

Titel

**HOCHEFFIZIENTE****PV-WECHSELRICHTERSYSTEME**

Einer der wichtigsten Antriebe hinter der kontinuierlichen Entwicklung von netzgekoppelten photovoltaischen Systemen ist der Umwandlungswirkungsgrad. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass der Wirkungsgrad den Ertrag eines Systems direkt beeinflusst. Zum Beispiel entstehen aus einer Erhöhung von 1% im Wirkungsgrad zusätzliche Erträgen in Höhe von ca. 30€ per installierte kWpeak Leistung in Deutschland (Basis: Jahr 2009). Das Interesse an hohen Wirkungsgraden ist dennoch nicht nur auf die PV-Anwendung begrenzt. Aufgrund der zunehmenden Energiekosten und Energieeinsparungsgesetze ist eine Effizienzsteigerung auch in anderen Bereichen zunehmend wirtschaftlich.

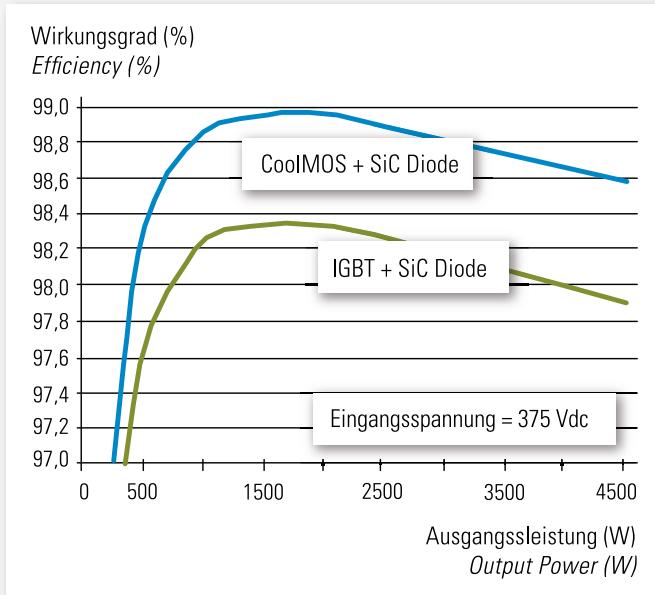
Hohe Wirkungsgrade können zunächst durch die Auswahl von Topologien mit sehr geringeren spezifischen Verlusten erreicht werden. Dazu sind mehrere Schaltungen die besonders dafür geeignet sind in den letzten Jahren patentiert worden. Ferner führt ein sorgfältiger Entwurf, der die verschiedenen Verlustkomponenten betrachtet, zu einer optimalen Auswahl von Bauteilen und Betriebsparametern. Neue Fortschritte im Bereich der Halbleitertechniken erlauben inter-

title

**HIGHLY EFFICIENT PV INVERTER SYSTEMS**

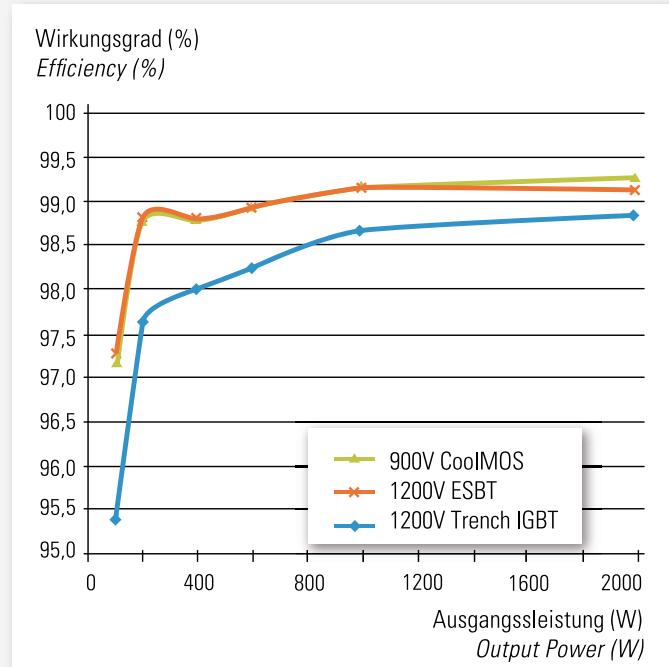
*One of the main market drives behind the development on power converters for grid-connected photovoltaic systems is the conversion efficiency. This can be mainly justified by the fact that efficiency directly affects the profit in such a system characterized by high subsidies. For instance, an increase of 1% in the efficiency could result in an extra revenue of approximately 30 € per installed kWpeak capacity in Germany for the year 2009. The interest towards high efficiency is nevertheless not limited to the referred application, as it is possible to observe an increasing demand in other areas due to the pressure of energy prices and conservation policies.*

*High levels of efficiency in power converters can be attained by employing topologies with very low specific losses, as several circuits specially suited for the application were already patented in the past few years. In addition, a careful design considering the diverse losses components shall lead to an optimal selection of components and operation parameters. Recent advances in the area of semiconductor technologies also brought interesting*



Gemessener Wirkungsgrad eines einphasigen-Wechselrichters für verschiedene Halbleiter-Konfigurationen

*Measured efficiency from a single-phase inverter for different semiconductor configurations*



Gemessener Wirkungsgrad eines Hochsetzstellers für verschiedene Halbleiter-Konfigurationen

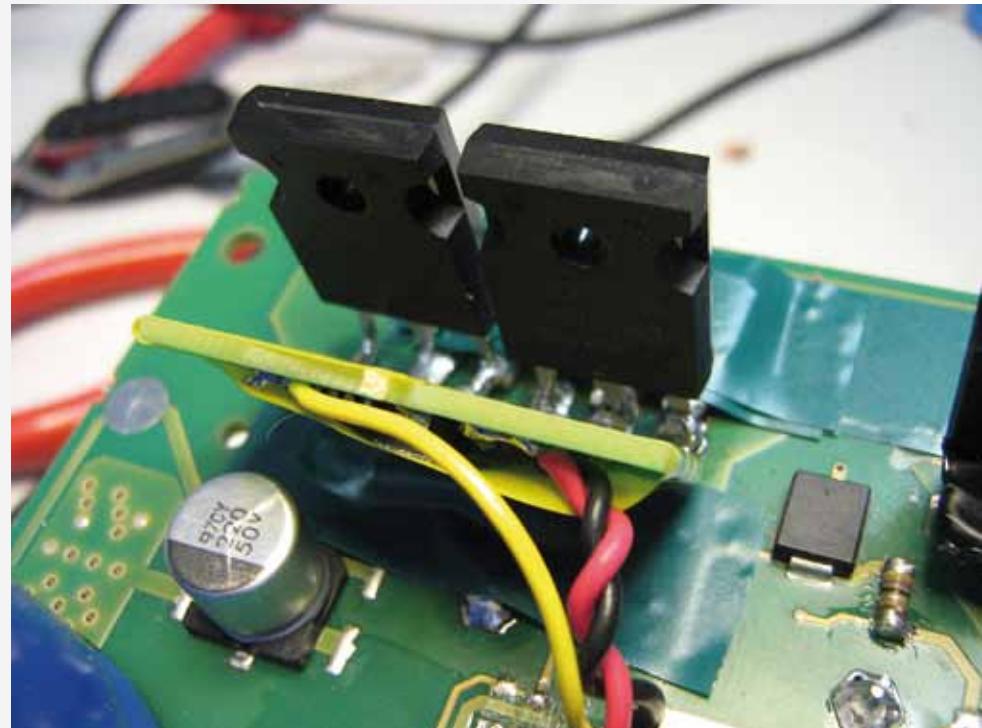
*Measured efficiency from a boost converter for different semiconductor configurations*

essante Entwurfsmöglichkeiten wie den Betrieb bei höheren Spannungen mit verringerten Durchlass- und Schaltverluste. Beispiele sind nicht nur Silizium-basierenden Bauteile wie CoolMOS® und ESBT®, sondern auch die neuen Silizium-Karbid (SiC) Schalter und Dioden.

Inzwischen sind im KDEE verschiedene Topologien für netzverbundene photovoltaische Systeme in Zusammenarbeit mit der Industrie ausgelegt und im Labor getestet worden. Spitzewirkungsgrade von ca. 99% sind unter Laborbedingungen in verschiedenen Schaltungen nicht nur mit SiC sondern auch mit Si Bauelementen erreicht worden. Die Evaluation und Bewertung der Ergebnisse ist durch High-End Messgeräte mit höchster Genauigkeit gewährleistet.

*design possibilities like operating with increasing voltage stress but reduced conduction and switching losses. Examples can be found not only for silicon-based devices like CoolMOS® and ESBT®, but also for new silicon carbide (SiC) power switches and diodes.*

*Several inverter circuits for grid-connected photovoltaic systems were in past years projected and experimentally investigated in the laboratories in cooperation with the industry. Peak levels of efficiency of approximately 99% were achieved not only with SiC but also with Si devices for different circuits. The evaluation was performed employing high-end measuring equipment capable of ensuring a high level accuracy to the results.*



Eingesetzte Halbleiter, Versuchsaufbau  
Applied semiconductors, experimental set-up

#### REFERENZEN

- S. V. Araujo, P. Zacharias and R. Mallwitz, "Highly Efficient Single-Phase Transformerless Inverters for Grid-Connected Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, Accepted for future publication (Digital Object Identifier 10.1109/TIE.2009.2037654)

Ansprechpartner

SAMUEL VASCONCELOS ARAÚJO, M.SC.

Titel

## GALVANISCH NICHT GETRENNTE STROMRICHTER FÜR NETZGEKOPPELTE SYSTEME MIT GEERDETEM PV-GENERATOR

Heutzutage stellen transformatorlose Wechselrichter im europäischen Photovoltaik-Markt die deutliche Mehrheit der neu installierten Systeme im mittleren Leistungsbereich dar, hauptsächlich wegen des hohen Wirkungsgrades und der verringerten Kosten und des geringeren Gewichts im Vergleich zu anderen Konzepten mit niedrig- oder hochfrequenten Transformatoren. Dennoch entstehen einige Beschränkungen für den Betrieb solcher Systeme, hauptsächlich dadurch, dass die Anschlüsse des PV-Generators i.d.R. nicht geerdet werden können.

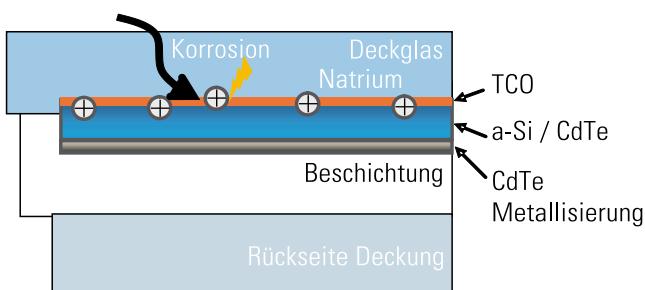
Als Beispiele für solche Beschränkungen kann man Ableitströme gegen Erde, Konformität mit internationalen Normen und Kompatibilität mit neuen Zelltechnologien wie Dünnschichtzellen mit Superstrate Technologie (a-Si, CdTe) und rückseitenkontaktierten Zellen des Herstellers Sunpower nennen. Für die genannten Zelltechnologien ist entsprechend die Erdung der negativen oder positiven Klemmen erforderlich um negative Effekte wie die TCO-Korrosion und Senkung des Wirkungsgrades durch Polarizationseffekte zu vermeiden.

title

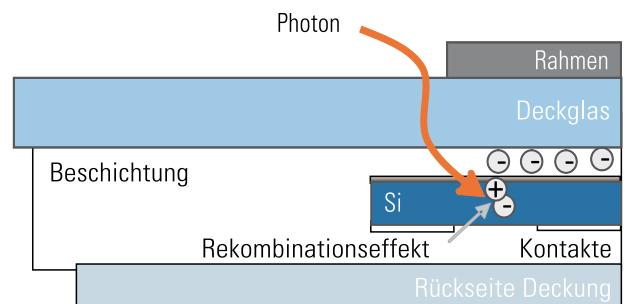
## NON-ISOLATED DC-DC CONVERTER FOR GRID-CONNECTED SYSTEMS WITH GROUNDED PV GENERATOR

Nowadays transformerless inverters correspond to the mainstream of the European photovoltaic market up to middle-power range. Reasons are not only the higher efficiency levels but also reduced costs and weight in comparison with their counterparts with low- or high-frequency isolation transformers. Notwithstanding there are several limitations for the operation of such systems, mainly due to the fact that the PV-generator outputs cannot be grounded.

Examples of such limitations are the leakage current to earth, conformity with international standards and compatibility with new cell technologies like thin-film with Superstrate technology (a-Si, CdTe) and Back-side-contact cells from the manufacturer Sunpower. For the referred cells, the grounding of the respectively negative and positive outputs is required in order to avoid negative effects like the corrosion of the TCO-layer and reduction of the efficiency through polarization effect.



Mögliche negative Auswirkungen auf nicht geerdete Dünnschicht- und rückseitenkontakteierte Module



Possible negative effects in non-grounded thin-film and back-side-contact cells

### REFERENZEN

- S. V. Araújo, P. Zacharias and B. Sahan: „Neue nicht galvanisch getrennte Konverter für netzgekoppelte Systeme mit geerdetem PV-Generator“, in Proc. 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, pp. 402 – 407, March, 2009.
- S. V. Araújo, P. Zacharias, B. Sahan, „Novel Grid-Connected Non-Isolated Converters for Photovoltaic Systems with Grounded Generator“, in Prof. Power Electronics Specialists Conference 2008 (PESC), pp. 58 – 65, Rhodes, June, 2008.

Im Zuge dieser Problematik wurden neuartige galvanisch nicht-getrennte DC/DC-Wandler entwickelt, welche die Erdung des PV-Felds mit beliebigen Potenzialen ermöglichen. Ein Lösungsansatz ist dabei der Einsatz einer gekoppelten Drossel, die Quelle und Last bei jedem Schaltvorgang voneinander entkoppelt wobei der Energiefluss und Regelung der Ausgangsspannung durch die synchrone Ansteuerung von beiden aktiven Schaltern erreicht wird. In experimentellen Untersuchungen konnte ein Spitzenwirkungsgrad von über 97% für den DC-DC-Wandler erreicht werden.

*In the course of such problematic, a novel non-isolated DC-DC converter was proposed, which allows the flexible ground of the PV-generator. By means of a coupled inductor are source and load decoupled, whereas the energy flow and control of output voltage is performed by the synchronous triggering of both active switches. A variant with winding-tap was proposed with the objective of reducing the voltage stress across one of the switches. Experimental results demonstrated a peak efficiency above 97%.*

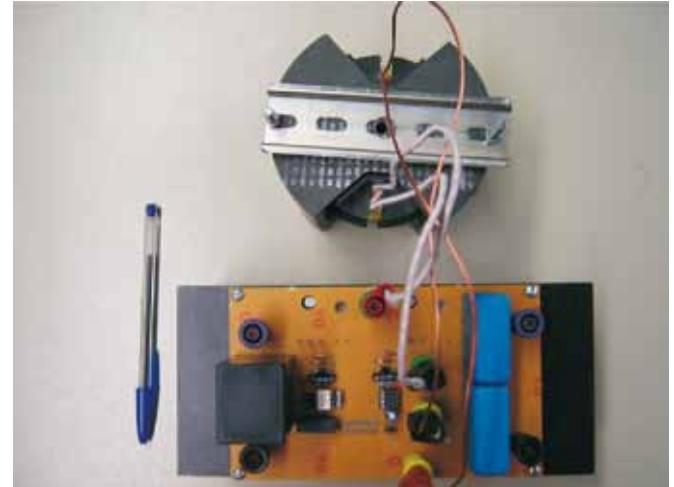


Foto eines 1kW Prototyps  
Photo of a 1kW prototype

#### Ansprechpartner

DIPL.-ING. CHRISTIAN NÖDING

---

#### Titel

**UNTERSUCHUNG EINES 3-PHASIGEN  
WECHSELRICHTERS MIT NUR  
2 HOCHFREQUENZ TRANSISTOREN**

Um bei hoher Leistung Strom in das Mittelspannungsnetz einspeisen zu können, müssen einige Bedingungen erfüllt werden. Neben einer störungsresistenten Elektronik sind seit 2008 auch neue Richtlinien in Bezug auf Erzeugeranlagen zu berücksichtigen, die in einer technischen Richtlinie des bdew (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) festgelegt worden sind. Unter anderem werden nun die aktive Qualitätssicherung des Versorgungsnetzes, sowie die dynamische Netzstützung im Fehlerfall gefordert.

Bisherige Schaltungskonzepte sind zwar in der Lage diese Voraussetzungen zu erfüllen, erzielen dies jedoch meist mit Hilfe von komplexeren und für die Mittelspannungsnetzanwendung teuren Bauteilen (z.B. IGBTs). Die Einhaltung der Anforderungen bei gleichzeitiger Verwendung günstigerer Bauteile verspricht die untersuchte Schaltung des "Minnesota Inverters". Das Schaltungsprinzip wurde von Ned Mohan an der Minnesota Universität 1995 vorgestellt und kombiniert die Vorteile von robusten Thyristoren mit denen moderner Halbleiterschalter.

---

#### title

**EVALUATION OF A THREE-PHASE  
TWO-HF-SWITCH DC-AC CONVERTER**

---

*To feed in a high-power alternating current into the medium voltage AC grid several requirements have to be kept. Next to a rugged and interference-insusceptible electronics, attention has to be given to the new grid connection guidelines in Germany relating to generators since 2008. These new rules are specified and edited by the bdew (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.). Now generators are requested to take part in quality control of the grid as well as dynamic fault ride through during failures.*

*Existing topologies are already able to meet these demands but generally by using complex and costly components like IGBTs. The compliance with the requirements by using cheaper components the topology of the "Minnesota Inverter" is promising. The circuit design was firstly introduced by Ned Mohan at the Minnesota University in 1995. It combines benefits of rugged thyristors with properties of modern semiconductors.*

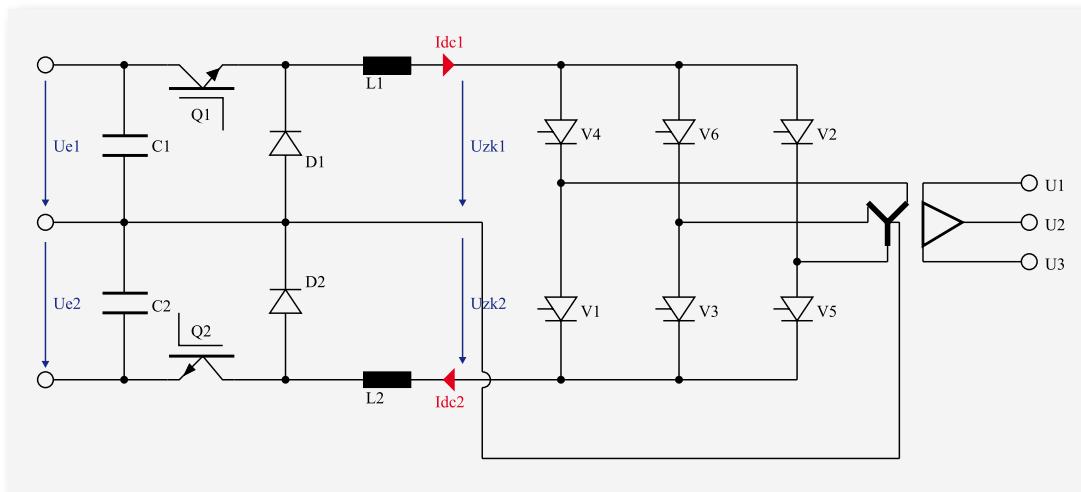


Bild 1:  
Schaltungsprinzip des  
Minnesota-Inverters

Bild 1 zeigt das Schaltungsprinzip, welches aus zwei eingangsseitigen Tiefsetzstellern und einer herkömmlichen B6-Thyristorbrücke besteht. Zusätzlich wird ein Stern-Dreieck-Transformator verwendet, dessen Sternpunkt mit den beiden Tiefsetzstellerströmen verbunden wird. Bei entsprechender Modulation der Tiefsetzstellerströme ist durch die Verkettung der Ströme ein dreiphasiger, sinusförmiger Netzstrom möglich (Bild 2). Zudem kann ebenfalls über die Zwischenkreisstrommodulation induktive, wie kapazitive Blindleistung bereitgestellt werden, sodass ein Phasenwinkel zwischen  $150^\circ$  und  $210^\circ$  stufenlos gefahren werden kann. Diese Betriebsarten waren bislang nicht für Thyristorschaltungen möglich.

The picture above shows the topology of the inverter consisting of two buck-converters, a standard B6 circuit and a star-delta-transformer whose neutral point is connected to both of the front-staged buck-converters. By using a special current modulation a 3-phase sinusoidal grid current can be provided by interlinking all three phases (picture below). Furthermore the power can be shifted around pure active power by controlling the modulated DC-link current of the buck-converters. The circuit is therefore capable of shifting the output current between inductive ( $\alpha=150^\circ$ ) and capacitive ( $\alpha=210^\circ$ ) reactive power continuously without any steps. This operating point was not possible for standard thyristor circuits before.

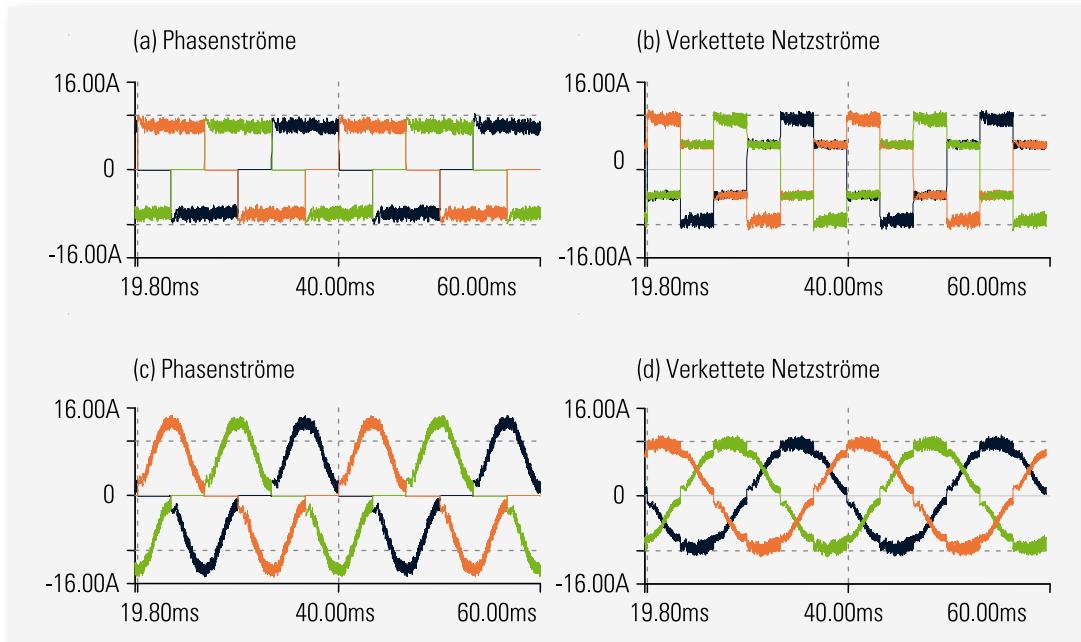


Bild 2:  
Simulierte Stromverläufe  
mit (c/d) und ohne (a/b)  
Modulation

#### REFERENZEN

- C. Nöding, B. Sahan, P. Zacharias, "Evaluation of a Three-Phase Two-HF-Switch PV Inverter with Thyristor-Interface and Active Power Factor Control", PCIM Nuremberg, 2010
- C. Nöding, „Untersuchung eines 3-phasigen Wechselrichters mit nur zwei Hochfrequenz-Transistoren“, Diplomarbeit, KDEE, 2009

Neben dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines Prototyps anhand des vorgestellten Schaltungsprinzips (Bild 3) wurden Simulationsergebnisse verifiziert und eine erste Wirkungsgraduntersuchung durchgeführt. Aufgrund des Einsatzes von Thyristoren verringerten sich die Verluste deutlich in Vergleich zu IGBT-Umrichtern, sodass ein Gesamtwirkungsgrad von > 98% über einen weiten Bereich zwischen 1,5kW bis 5,0kW erzielt werden konnte.

*Beside the construction and implementation of a prototype (picture 3) results of simulations have been verified and the efficiency was measured. Relating to IGBTs the use of thyristors decreased the losses. An efficiency of > 98% could be achieved over a large range of power between 1.5kW and 5.0kW.*



Aufgrund der geringen Anzahl an HF-Schaltern bietet die untersuchte Schaltungstopologie zudem ein mögliches Einsatzgebiet für SiC-Schalter, die derzeit erst bei hoher Chipflächen-Ausnutzung finanziell interessant werden. Der Wirkungsgrad kann durch Einsatz dieser Technologie zudem weiter angehoben werden.

*Due to the low number of high frequency switches the investigated circuit provides a profitable destination for new SiC-switches because of the high current utilization of the chip area. The efficiency can be raised by using this new kind of semiconductors.*

Ansprechpartner

SAMUEL VASCONCELOS ARAÚJO, M.SC.

Titel

**DC-DC WANDLER MIT HOHEM  
ÜBERSETZUNGSVERHÄLTNIS**

title

**DC-DC CONVERTER WITH HIGH  
VOLTAGE GAIN**

Die aktuelle Nachfrage nach erneuerbaren Energiequellen und nachhaltiger Mobilität hat zu einem zunehmenden Interesse an hoch-effizienten Wandlern mit hoher Spannungsübersetzung geführt. Diese Funktionalität wird z.B. bei netzgekoppelten Systemen benötigt, bei denen aus einer DC-Quelle mit sehr niedriger Ausgangsspannung eingespeist wird. Beispiele dafür sind Batterien oder Superkondensatoren in USV-Systemen (Unterbrechungsfreie Stromversorgung), PV-Module mit integrierten Wechselrichtern und Brennstoffzellen in hybriden Systemen.

*The current demand for renewable energy sources and power mobility has led to an increasing interest towards highly efficient voltage step-up capability. This is specifically required in applications where a grid voltage level or higher shall be generated from a low voltage source like batteries in UPS (uninterrupted power supply) systems, photovoltaic panels in module-integrated inverters and fuel-cell in hybrid systems.*

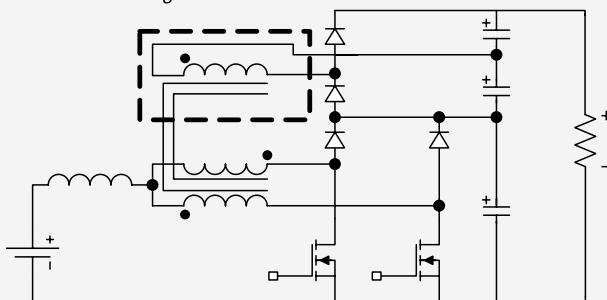
In der Vergangenheit wurden solche Anforderungen oftmals mit einem Transformator erfüllt. Dieser ist zwar einfach im Aufbau und Betrieb, hat jedoch deutliche Nachteile bei der Leistungsdichte, beim Stellbereich und ggf. beim Wirkungsgrad. Eine interessante Alternative dazu ist der Einsatz eines nicht-isolierten DC-DC Wandlers um die gewünschte hohe Spannungsverstärkung zu erreichen und zu regeln. Der klassische Hochsetzsteller ist aber dafür nicht geeignet, da zum einen die maximale Verstärkung durch parasitäre Effekte begrenzt ist und zum anderen die Strom-Spannungsbelaustung mit zunehmendem Übersetzungsverhältnis ansteigt.

Um eine solche Problematik zu beheben sind mehrere spezielle nicht-isolierte Topologien entwickelt worden, die in der Lage sind ein hohes Übersetzungsverhältnis zu erreichen. Zwei Schaltungen basierend einer hochsetzenden Three-State-Schaltzelle sind erforscht und experimentell untersucht worden. Die Vorteile dieser Topologie sind die Reduzierung der Eingangsdrossel in Folge der Verdopplung der effektiven Schaltfrequenz und Senkung der Durchlassverluste wegen der parallel angeordneten Schalter. Die erste Variante der Schaltung erreicht ein hohes Übersetzungsverhältnis durch die Nutzung einer zusätzlichen Wicklung mit einstellbarem Wicklungsverhältnis. Weitere Windungen können je nach Anforderung der Applikation auch hinzugefügt werden. In der zweiten Variante kommt ein erweiterbarer Spannungsvervielfacher bestehend aus zwei Kondensatoren und zwei Dioden zum Einsatz.

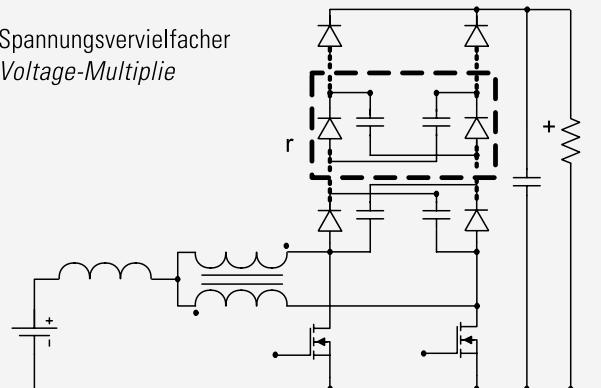
*In the past, such requirement was most commonly fulfilled with a step-up transformer. Though simple in the construction and operation, such solution displayed several disadvantages as low power density, low efficiency and poor control flexibility. An interesting alternative is therefore to employ a DC-DC converter to provide the required step-up and control for the application. Classic circuits like the boost are nevertheless not suited, as the gain at higher levels is severely limited due to parasitic effects while stability is also affected.*

*In order to address the referred problematic, several specially designed topologies that operate with gain levels higher than 10 were studied in the literature. Two circuits based on the boost converter with three-state commutation cell were investigated and experimentally tested. Advantages of the three-state switching cell are the higher frequency across the input inductor allowing reduction of the size and current share among the switches, what significantly reduces the conduction losses. The first variant employs an additional winding coupled with the auto-transformer, with the gain ratio being defined by the employed turns-ratio. Several windings can also be applied, depending on the application requirements. In the second variant either single or additional multiplier-stages, each composed of two capacitors and two diodes can be added to boost the gain of the original step-up converter.*

Zusätzliche Wicklung  
Additional Winding



Spannungsvervielfacher  
Voltage-Multiplier



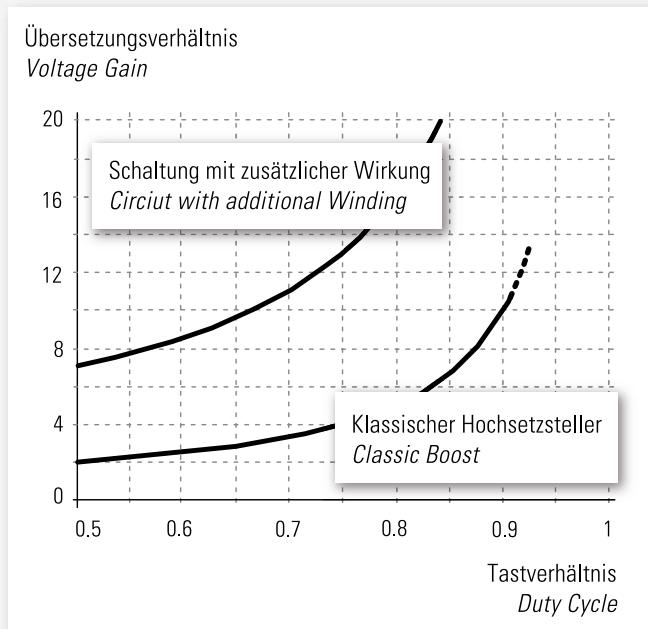
Schaltplan der untersuchten Topologien

Circuit diagram of the investigated circuits

#### REFERENZEN

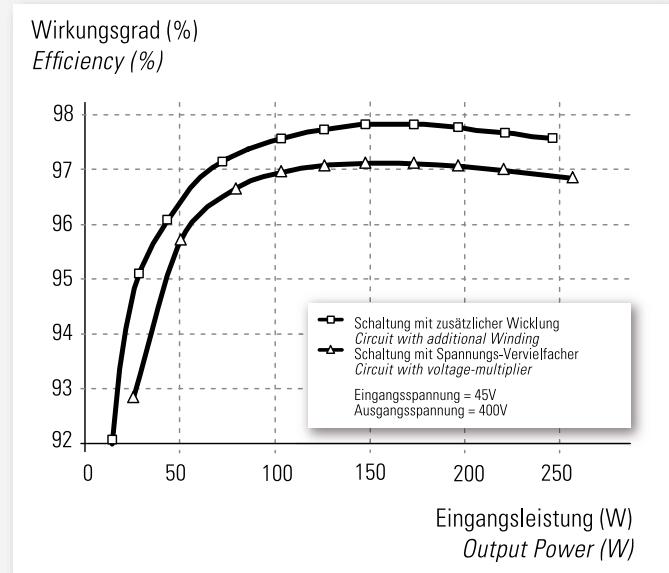
- S. V. Araújo, R. P. Torrico-Bascopé and G. V. Torrico-Bascopé, "Highly efficient high step-up converter for fuel-cell power processing based on three-state commutation cell", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, Accepted for future publication (Digital Object Identifier 10.1109/TIE.2009.2029521)
- S. V. Araújo, R. P. Torrico-Bascopé, G.V. Torrico-Bascopé and L. M. Menezes, "Step-Up Converter with High Voltage Gain Employing Three-State Switching Cell and Voltage Multiplier", in Prof. Power Electronics Specialists Conference 2008 (PESC), pp. 2271 – 2277, Rhodes, June, 2008.
- S. V. Araújo, P. Zacharias, B. Sahan, R. P. Torrico-Bascopé and F. L. M. Antunes, "Analysis and proposition of a PV module integrated converter with high voltage gain capability in a non-isolated topology" in Proc. of 7<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics (IICPE), Daegu, October, 2007.

Prototypen beider Topologien wurden für eine Nennleistung von 250W ausgelegt und im Labor untersucht. Die Spannungsverstärkung betrug bei 35-45V Eingangsspannung auf 400V Ausgangsspannung (geeignet für einphasige Applikationen) etwa Faktor 10. Ein Wirkungsgrad von ca. 98% wurde bei der Schaltung mit Spannungsvervielfacher gemessen.



Übersetzungsverhältnis als Funktion des Tastverhältnisses  
für die untersuchten Topologien  
*Gain curves as a function of the duty cycle for the investigated topologies*

Prototypes of both circuits were built in laboratory with a nominal power of 250W. The voltage step-up capability was tested for an output voltage of 400V (what would be enough to feed the DC-link of a single-phase inverter) and input voltages in the range of 35 to 45V. A peak efficiency of approximately 98% was measured.



Gemessener Wirkungsgrad  
*Measured efficiency*

Ansprechpartner  
DIPL.-ING. MICHAEL HEEB

Titel  
**APPROXIMATION DER TRÄGERLAUFZEIT FÜR  
DIE VORHERSAGE VON PETT-OSZILLATIONEN  
IN LEISTUNGSDIODEN**

*title*  
**CARRIER TRANSIT TIME APPROXIMATION  
FOR PREDICTION OF PETT OSCILLATION IN  
POWER DIODES**

Plasma Extraction Transit Time (PETT) Oszillationen können unter gewissen Voraussetzungen während der Tailstromphase in Leistungs-Halbleitermodulen auftreten. Auslöser für die PETT-Schwingungen sind interne Oszillatoren in den Halbleitern. Das Layout eines Leistungsmoduls und die damit verbundenen parasitären Leiterelemente sind als Resonanzkreise an den Schwingungen beteiligt. Die PETT-Oszillationen gehören zu einer Reihe von Hochfrequenzschwingungen, die es zu vermeiden gilt, da sie sich ansonsten in der näheren Umgebung des Moduls ausbreiten und EMV-Störungen in benachbarten elektronischen Baugruppen hervorrufen können.

Plasma Extraction Transit Time (PETT) Oscillation can appear under special conditions during the turn-off phase of high power semiconductors. It can be suppressed or supported by the circuit arrangement given by the module layout incorporating the chips. PETT is a high frequency oscillation which possibly spreads out into the close vicinity of the device and thus can cause EMC disturbances.

Über eine einfache analytische Formel oder über numerische Berechnungen war es bisher möglich, den Oszillationsfrequenzbereich abzuschätzen (siehe Fig. 1). In der zurückliegenden Arbeit wurde ein neues analytisches Rechenmodell präsentiert, das den Oszillationsfrequenzbereich genauer vorhersagen kann (siehe Fig. 2). Beide Prognosemodelle wurden jeweils mit ausgiebigen Messreihen verglichen, um deren Genauigkeit zu überprüfen. Außerdem wurden die parasitären Resonanzkreise simuliert, so dass es möglich war, die Vorhersage für das Auftreten von PETT-Oszillationen weiter zu verbessern. Die Ergebnisse der Arbeit fließen in die Entwicklungsphase von Leistungshalbleitermodulen ein und steigern die Qualität und Zuverlässigkeit der entwickelten Bausteine.

Die Veröffentlichung zu der Arbeit wurde auf der PCIM 2009 in Nürnberg mit dem "Young Engineer Award" ausgezeichnet.

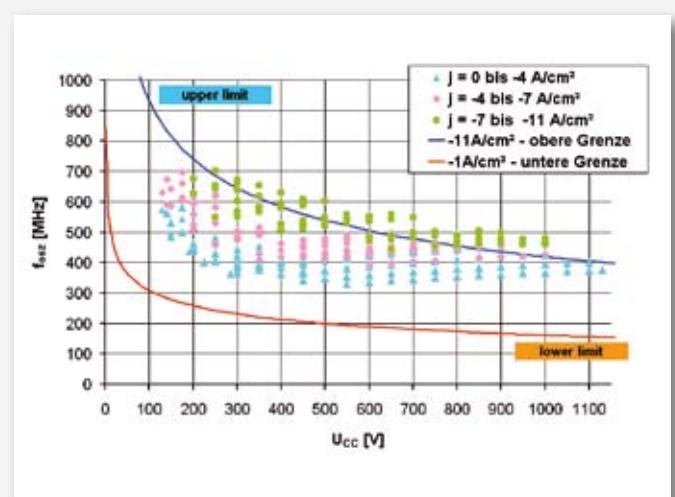
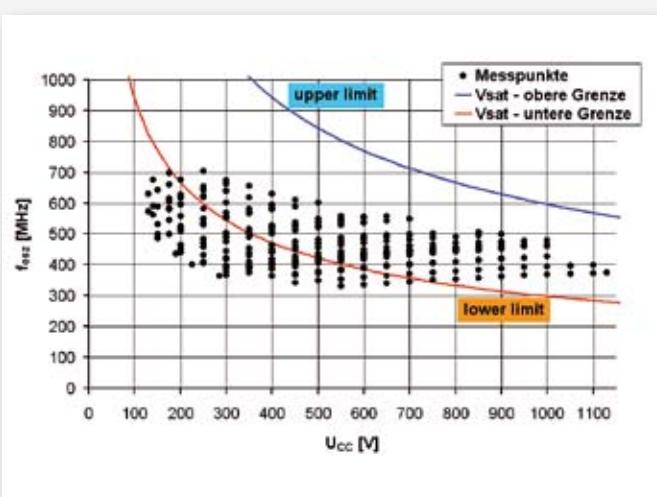
The frequency range of the oscillation can be estimated by simple analytical formulas reported in the literature or sophisticated numerical analyses (see Fig. 1). In the present work a new analytical procedure for predicting the frequency range of PETT Oscillation is presented and compared to experimental findings (see Fig. 2). Together with the simulation of the parasitic environment a sufficient match between theory and experiment is achieved. These results can be implemented in the design flow for power semiconductors and thus improve the quality and reliability.

The final publication of this work won the "Young Engineer Award" at the PCIM 2009 in Nuremberg.



Beispiel für Hochleistungs-IGBT-Schalter (Infineon)

Example for high power IGBT switch



Ansprechpartner  
DIPL.-ING. BENJAMIN SAHAN

Titel

## **ENTWICKLUNG EINER ELEKTRONISCHEN QUELLE/LAST**

Das KDEE entwickelt für den für die Erweiterung der eigenen Infrastruktur eine elektronische Quelle/Last. Diese kann z.B. für das Testen von Solar-Wechselrichtern, Batterieladegeräten, USV u.v.m. eingesetzt werden oder als „virtuelle Batterie“ in Elektro- und Hybridfahrzeugen dienen.

Dabei sind zwei Varianten in Entwicklung. Ein Gerät verfügt über einen hohen Spannungsbereich bis 1500V. Ein zweites Gerät wird speziell für Elektroantriebe entwickelt bis 600V und 90kW.

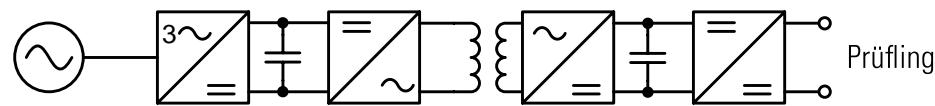
Als Schaltungskonzept wurde eine mehrstufige, modulare Topologie gewählt, die aufgrund des Hochfrequenz-Trafos hohe Effizienz und geringes Bauvolumen ermöglicht.

title

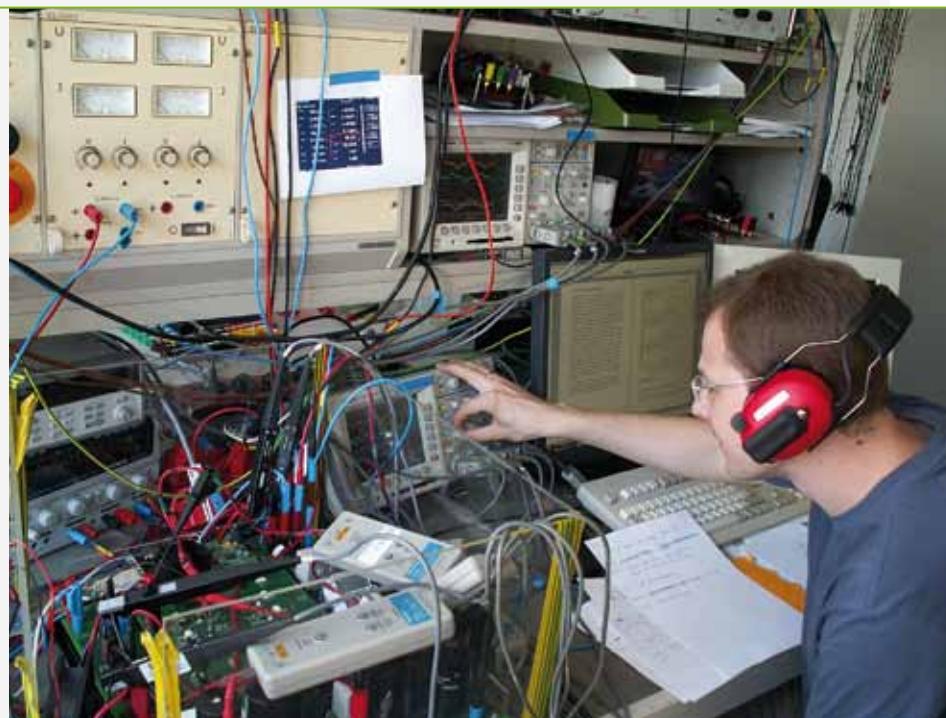
## **DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC SOURCE/LOAD**

KDEE is developing for its own needs an electronic source/load. This can be used to test Solar-inverters, battery chargers, UPS and many more or it can serve as a “virtual battery” in electric and hybrid vehicles.

Two variants are under development. One device has a large voltage range from 1500V. The other device has 600V, 90kW and is specially tailored for Electric vehicles. The topology is a modular multi-stage approach and the high frequency transformer allows high efficiency at small size.



Schaltungskonzept der elektronischen Quelle/Last  
*Topology of the electronic source/load*



Entwicklung neuer Wechselrichterkonzepte  
*Development of new inverter concepts*

Ansprechpartner

PROF. DR.-ING. HABIL. PETER ZACHARIAS

Titel

**ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN 2009**

Dr. Dipl.-Ing. Fan Wang:

**„Dynamische Belastbarkeit von Energieaufbereitungseinheiten für die elektrische Energieversorgung“**

In ca. 90% der Einsatzfälle wird die Verlustwärme in der Leistungselektronik über natürliche oder erzwungene Luftströmung abtransportiert. Hierfür wurden und werden eine Vielzahl von Kühlkörpern mit Profilen mit unterschiedlicher Effizienz für den Wärmetransport entwickelt. Die Hersteller geben hierzu jedoch idealisierte Angaben für die Profile an, die wenig mit dem praktischen Einsatz zu tun haben und die für einen Anwender wenig überschaubar sind. Im Prinzip ist eine FEM-Berechnung der Wärmeausbreitung zwar meistens Ziel führend, jedoch sehr aufwändig. Angesichts der Parameterunsicherheit hinsichtlich der Wärmeübergabe an der Kühleroberfläche erscheint außerdem der Berechnungsaufwand, von dem einige Ingenieurbüros leben, in den Standardfällen überhöht. Aber auch die Standardfälle haben das Problem, dass Standardprofile mit großen Flächen zur Wärmeleitung mit Halbleiterelementen verbunden werden, die deutlich geringere Flächen zur Wärmeauskopplung aufweisen. Jedes einzelne Bauteil wird mit dem optimalen Wert im Datenblatt ausgewiesen. Bei der Zusammenführung ergibt jedoch die Summe der Parameter falsche Ergebnisse. Hier setzt der Doktorand an. Ziel war die Erarbeitung einer Methodik, die mit möglichst einfachen Formeln die Fehlanpassung der Wärmeübergangsflächen auch bei unterschiedlicher Gestaltung der Verhältnisse für die laterale Wärmeausbreitung und den Wärmeübergang zur Umgebung in guter Näherung berücksichtigt. Damit wäre auch ein qualifizierter Ausgangspunkt für FEM-basierte weitere Berechnungsansätze gegeben.

Methodisch wurde seitens Herrn Wang so vorgegangen, dass praktische Standardfälle analysiert werden. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass ein leistungselektronisches Bauelement oder Modul in einem verschieden gestalteten geschichteten Aufbau mit einem Kühlkörper verbunden ist. Dieser ist im Wesentlichen durch die Wärmeausbreitung lateral in der Koppelstelle und durch die Effizienz des Wärmeübergangs an den Kühlrippen oder anders gestalteten Wärmeübergangsflächen gekennzeichnet. Letzteres ist von Betriebsbedingungen der Entwärmungseinrichtung (Luftstrom, Druckabfall) zusätzlich zu den geometrischen Konstruktionsparametern abhängig zusätzlich beeinflussbar.

title

**COMPLETED DISSERTATIONS 2009**

Dr. Dipl.-Ing. Fan Wang:

**“Dynamic loading capacity from Energy Conditioning Systems for the electric energy supply”**

*In all electrical equipments, parts of the electrical power are converted into heat. This leads to the heating and the related thermal stress on the devices. The thermal management of electronic components has been more and more important due to the progressive miniaturization and the consequent increasing of power dissipation.*

*According to the objectives of this work, this thesis deals with the research of the temperature dependence, the principle of heat generation of power module as well as the determination of the thermal resistance of heat sink. It is also shown that not only temperature but also the temperature fluctuation can strongly influence the reliability of the power module. The emphasis of this work concentrates on the acquisition of thermal resistance  $R_{th}$  of heat sink with an arbitrarily installed heat source, because the heat sink is used frequently in cooling system due to the good price/performance ratio. An analytical solution is proposed for calculating the thermal spreading resistance for a two-dimensional thermal model including the uniform heat source located on the centre of heat sink by using two separate mathematical models. The temperature distribution and the maximum dimensionless spreading resistance are obtained in closed form expression depending on three dimensionless parameters. To determine the error and the range of application, the results of analytical solutions are compared with numerical data from a commercial finite-element-analysis (FEA) programme. Furthermore, the static temperature distribution for a closed space which includes heat source distributed nonuniformly has been also presented by using Green's functions with the boundary conditions and initial conditions analytically.*



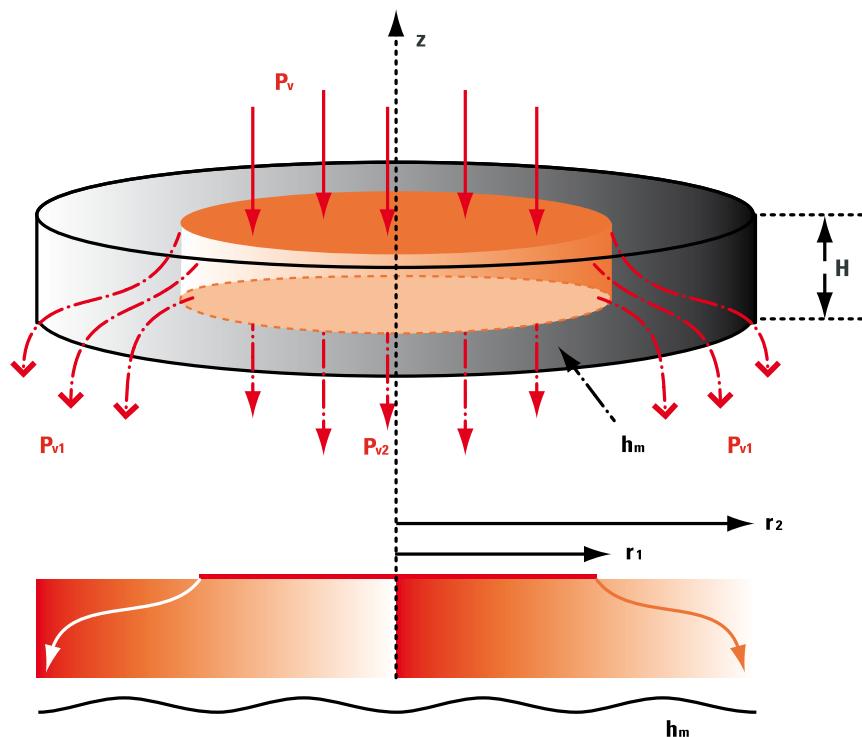
Aufbauend auf Ansätzen aus der Literatur wählt Herr Wang den Weg einer schrittweisen Abstraktion. Dadurch wird es möglich, konkrete Wärmekoppelflächen, die wegen ihrer Geometrie eine FEM-Berechnung erfordert hätten, auf analytisch berechenbare Situationen ab zu bilden. Hierzu bietet sich die gewählte zylindrische Symmetrie an.

Herr Wang setzt die Problemstellung in die Frage nach der Einführung eines zusätzlichen Widerstands für die Wärmeleitung-Spreizung und dessen dimensionsloser Beschreibung um. Die Abbildung der realen Ausgangssituation in analytisch berechenbare Koordinaten und der Vergleich sowohl mit FEM-Berechnungen als auch mit praktischen Messungen zeigen, dass hier mit Beharrlichkeit ein Erfolg versprechender Weg beschritten wurde. Die Arbeit weist den Weg für zukünftige Arbeiten auf diesem Gebiet zur Entwärmung von Systemen mit mehrfach gekoppelten (Verlust-) Wärmequellen.

*Besides analytical solution, an adequate modelling from empirical methods provides another efficient method of description for a complex physical process. Dimension-analysis, experiment planning and approximation of experiment data with optimized function approach are effective tools to get the dependency among the components of a technical model. They offer a procedure, whereby the inner structure of a technology system can be described by experiment. In this work, the method of experiment is also used to obtain the thermal resistance of heat sink directly by using the dimensionless parameters and the measurements from the experiment. Through the approach of optimized function system and the approximation of experiment data, the mathematical expression of the dimensionless thermal resistance of the heat sink is given as a function of three dimensionless parameters.*



Versuchsaufbau des Kühlsystems  
Experimental set-up of the cooling system



Thermisches Modell eines Kühl-  
systems mit Wärmestromspreizung  
*Thermal model of cooling system  
with dividing the heat flow*

Dr.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Claus Strowitzki, M.Sc.

## **Simulation und Entwurf eines monolithischen Hochgeschwindigkeitsschalters für Excimerlaser**

Excimerlaser sind gepulste Gaslaser, die Laseremission in Form von Liniенstrahlung abhängig von der Gasmischung – im UV erzeugen. Der erste entladungsgepumpte Excimerlaser wurde 1977 von Ischenko demonstriert. Alle kommerziell verfügbaren Excimerlaser sind entladungsgepumpte Systeme.

Um eine Inversion der Besetzungsichte zu erhalten, die notwendig ist, um den Laser zum Anschwingen zu bekommen, muss aufgrund der kurzen Wellenlänge sehr stark gepumpt werden. Diese Pumpleistung muss von einem Impulsleistungsmodul erzeugt werden. Als Schaltelemente gebräuchlich sind Thyratrons, Niederdruckschaltröhren, deren Lebensdauer jedoch sehr limitiert ist. Deshalb haben sich seit Mitte der 1990iger Jahre Halbleiterschalter mit Pulskompressionsstufen auch in dieser Anwendung mehr und mehr durchgesetzt.

In der Arbeit wurden Möglichkeiten untersucht, die Pulskompression durch einen direkt schaltenden Halbleiter-Stack zu ersetzen und dadurch die Verluste zu reduzieren sowie den Aufwand für die Pulskompression einzusparen. Zudem konnte auch die maximal mögliche Repetitionsrate erhöht werden.

Um die Belastung der Bauelemente zu berechnen, wurden für alle Komponenten möglichst einfache, aber leistungsfähige Modelle entwickelt. Da die normalerweise verfügbaren Daten der Bauelemente sich aber auf andere Applikationen beziehen, mussten für alle Bauteile grundlegende Messungen im Zeitbereich der späteren Applikation gemacht werden.

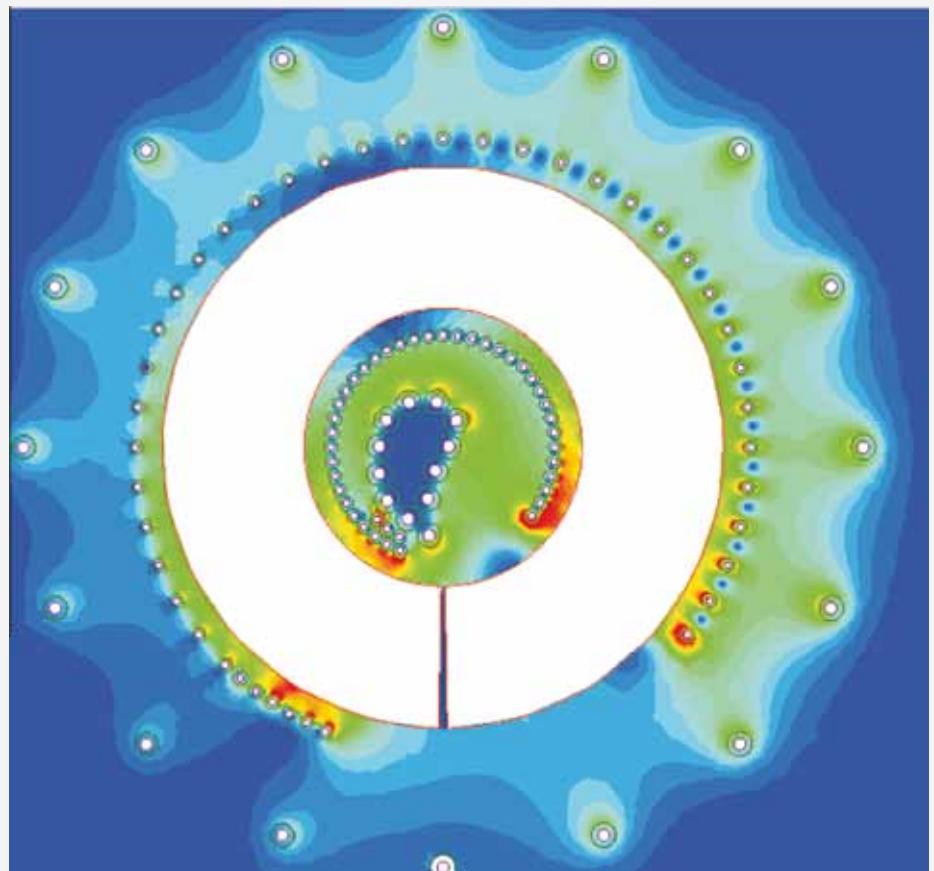
Dr.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Claus Strowitzki, M.Sc.

## **Simulation and Design of a high speed Solid State Switch For Excimer Lasers**

Excimer lasers are pulsed gas discharge Lasers. The laser emission depends on the gas mixture and emits in the UV range. The first commercial discharge pumped Excimer laser was demonstrated by Ischenko in 1977. All commercial Excimer lasers are discharge pumped systems.

To achieve an inversion, which is necessary to start lasing, very strong pumping is necessary because of the short wavelength. The pumping power has to be generated by a pulsed power module. Switching elements are usually Thyratrons, low pressure switching tubes, which have limited life times. Consequently, beginning in the 1990 years semiconductor switches with pulse compression stages were also introduced for this application.

In this work it is desirable to replace the pulse compression by a direct switching semiconductor stack. The aim is to reduce losses and effort for the pulse compression stages. Additionally, a raise in maximum repetition rate is also possible. To compute the stress of the components, straight forward and realistic models are developed. The normally available data of the components are based on completely different applications. Hence it was necessary to measure all components in a timeframe close to the applied application.



Typische Ergebnisse der Simulation von elektrischen Feldern für einen Transistor  
Typical result of an electric field calculation for a transistor

Für die nichtlinearen Induktivitäten wurde ein einfaches Testverfahren entwickelt, um die Verluste bei sehr hohen Magnetisierungsgeschwindigkeiten zu bestimmen. Diese Messungen sind die Grundlagen für das Modell, das im Wesentlichen eine stromabhängige Induktivität beschreibt. Dieses Modell wurde für den "magnetic assist" benutzt, der die Einschaltverluste in den Halbleitern reduziert.

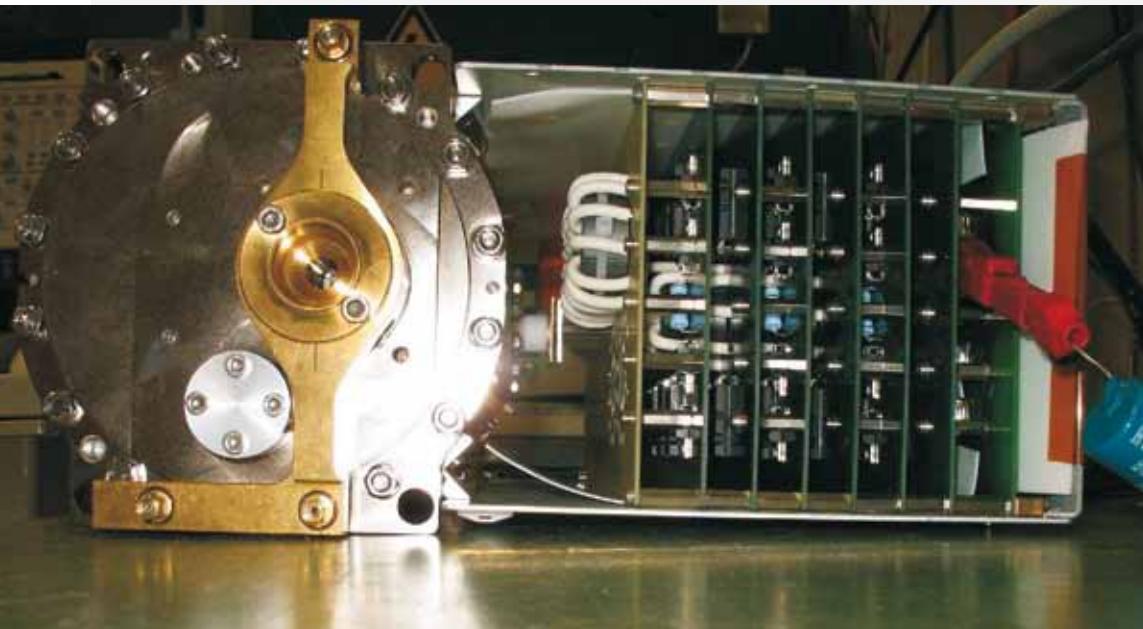
Die Impulskondensatoren wurden ebenfalls mit einem in der Arbeit entwickelten Verfahren nahe der späteren Einsatzparameter vermessen. Dabei zeigte sich, dass die sehr gebräuchlichen Class II Keramikkondensatoren für diese Anwendung nicht geeignet sind. In der Arbeit wurden deshalb Class I Hochspannungs-Vielschicht-Kondensatoren als Speicherbank verwendet, die ein deutlich besseres Verhalten zeigen. Die eingesetzten Halbleiterelemente wurden ebenfalls in einem Testverfahren nahe den späteren Einsatzparametern vermessen. Dabei zeigte sich, dass nur moderne Leistung-MOSFET's für diesen Einsatz geeignet sind. Bei den Dioden ergab sich, dass nur Siliziumkarbid (SiC) Schottky Dioden für die Applikation einsetzbar sind. Für die Anwendung sind prinzipiell verschiedene Topologien möglich. Bei näherer Betrachtung zeigte sich jedoch, dass nur die C-C Transfer Anordnung die gewünschten Ergebnisse liefern kann. Diese Topologie wurde realisiert. Sie besteht im Wesentlichen aus einer Speicherbank, die vom Netzteil aufgeladen wird. Aus dieser wird dann die Energie in den Laserkopf über den Schalter transferiert.

Aufgrund der hohen Spannungen und Ströme müssen 24 Schaltelemente in Serie und je 4 parallel geschaltet werden. Die Ansteuerung der Schalter wird über hochisolierende „Gate“-Transformatoren erreicht. Es zeigte sich, dass eine sorgfältig ausgelegte dynamische und statische Spannungsteilung für einen sicheren Betrieb notwendig ist. In der Arbeit konnte ein Betrieb mit realer Laserkammer als Last bis 6 kHz realisiert werden, der nur durch die maximal mögliche Repetitionsrate der Laserkammer begrenzt war.

*As an example for the non linear inductors a test procedure was developed to determine the losses at very high magnetization speeds. These measurements are the basis for the model which describes a current dependent inductor. This model was used for the "magnetic assist", which helps to reduce the switching losses of the semiconductors. In addition a method was developed to measure the pulsed power capacitor parameters closer to the applied application. These measurements indicated that the very commonly used class II ceramic capacitors are not suitable in this application. Hence, class I high voltage multi layer capacitors are used for the storage bank which have lower losses. The selected semiconductors were also qualified close to the intended application. These measurements also indicate that only modern power MOSFETs are suitable in this application. This application also requires that only Silicon carbide (SiC) Schottky diodes be used.*

*Different topologies are possible for this circuit. Additional consideration revealed that only the C-C transfer circuit delivers the desired results, and hence, this design was realized. The design basically, consists of a capacitor bank which is charged by a power supply and a switch which transfers the energy to the laser head.*

*Because of the high voltages and currents the necessary 24 stages have to be in series each stage consists of 4 parallel switches. One stage has also 4 parallel diodes in series with the MOSFETs. The switches are controlled by highly insulating "gate" transformers. The system operates stably because the voltage distribution is designed carefully with dynamic and static voltage balance elements. It can be shown that the operation of this circuit is possible with a laser discharge chamber up to 6 kHz only limited by the chamber design.*



Aufgebauter Prototyp –  
Vorderansicht des  
Laserkopfs  
*Constructed prototype  
– laser head front view*

**ABGESCHLOSSENE DIPLOM I-ARBEITEN IN 2009**

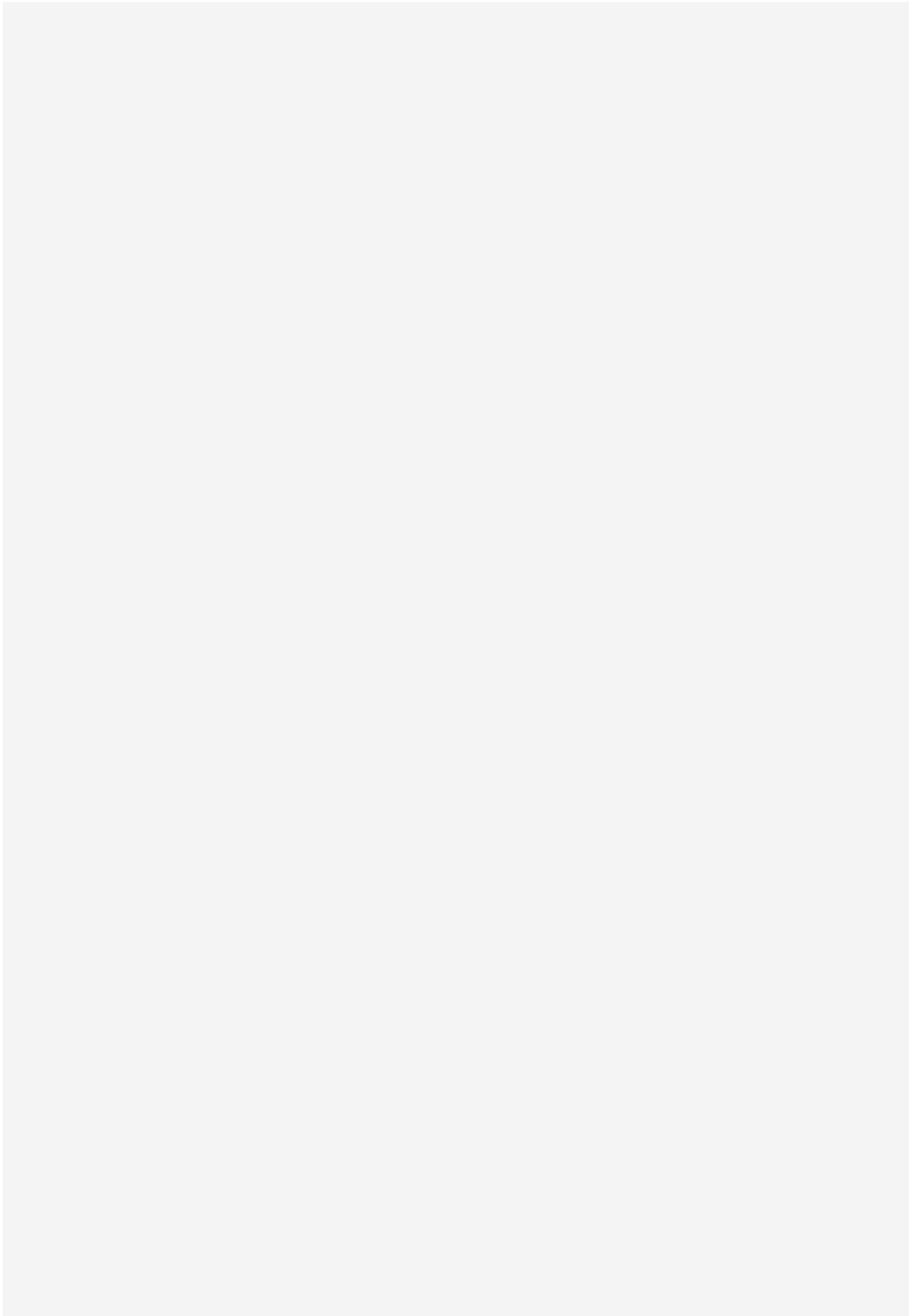
Art der Arbeit	Name	Titel	Betreuer
Diplom I	<b>Lars Cramer</b>	Analyse, Verifikation und Optimierung des Verhaltens eines dreiphasigen PV-Wechselrichters bei verschiedenen Netzereignissen	Zacharias
Diplom I	<b>Dimitri Geier</b>	Modellierung des Vergleichmäßigungseffekts	Zacharias
Diplom I	<b>Sandra Ludewig</b>	Entwicklung eines Qualitätsmanagementkonzeptes für Kaufteile in der Prototypenphase mit dem Ziel der abgesicherten Lieferantenqualifizierung am Beispiel der Leistungselektronik für das Projekt Elektrotraktion	Zacharias
Diplom I	<b>Jonathan Blanz</b>	Einsatz von elektrischen Energiespeichern zur dezentralen Zwischenspeicherung von PV-Energie im Niederspannungsnetz	Zacharias
Diplom I	<b>Gustl Amarell</b>	Technische und wirtschaftliche Aspekte für die Gestaltung und den Einsatz modul-integrierter PV-Wechselrichter	Zacharias
Diplom I	<b>Fabian Gillmann</b>	Daten- und Informationsanalyse zum europäischen Gewährleistungsmanagement für Lokomotiven	Heier
Diplom I	<b>Thomas Kirstein</b>	Untersuchung ultraschneller SiC-JFETs für den Einsatz in Wechselrichtern	Zacharias
Diplom I	<b>Jens Uwe Müller</b>	Konzept und Realisierung eines 1,5 kW DC/DC –Wandlers für Brennstoffzellensysteme	Zacharias
Diplom I	<b>Philipp Hartwig</b>	Ermittlung der Auslegungsflexibilität von Photovoltaik-Wechselrichtern	Zacharias

**ABGESCHLOSSENE DIPLOM II-ARBEITEN IN 2009**

Diplom II	<b>Yaning Hu</b>	Untersuchung der Netzqualität bei Windenergieintegration auf der tunesischen Insel Kerkennah	Heier
Diplom II	<b>Christian Nöding</b>	Untersuchung eines 3-phasigen Wechselrichters mit nur zwei Hochfrequenz-Transistoren	Zacharias
Diplom II	<b>Cihan Sirin</b>	Analyse von Regelungsverfahren für Wechselrichter zum Einsatz mit Kleinwindenergieanlagen (KWEA) und Entwicklung eines Matlab-Modells zur Bewertung ausgewählter Methoden	Heier

**ABGESCHLOSSENE MASTER-ARBEITEN IN 2009**

Master	<b>Gerold Schulze</b>	Verbesserung der Spannungsqualität und Reduzierung von Netzrückwirkungen mit Hilfe von multifunktionalen PV-Stromrichtern	Zacharias
Master	<b>Katharina Steffes</b>	Untersuchung von Netzanbindungskonzepten für Offshore Windparks am Beispiel alpha ventus	Heier
Master	<b>Daniel Kühler</b>	Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung zur rationellen Energieversorgung von Gebäuden und Siedlungen – Vergleich unterschiedlicher Bewertungsmethoden	Zacharias



## PUBLIKATIONEN 2009

### Beiträge in referierten Fachzeitschriften

1. V. Scarpa, S. Buso and G. Spiazz, "Low-Complexity MPPT Technique Exploiting the PV Module MPP Locus Characterization", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.56, no.5, pp.1531 – 1538, May, 2009.
2. S. Heier; M. Hilbert: Vom Wind zum elektrischen Strom. Praxis der Naturwissenschaften. Heft 5/58, Juli 2009, 58. Jg. Aulis Verlag Deubner, Köln & Leipzig. S. 24 – 29.
3. P. Zacharias, "Perspectives of SiC Power Devices in Highly Efficient Renewable Energy Conversion Systems", *Materials Science Forum Journal*, Volume Silicon Carbide and Related Materials 2008, vol. 615 – 617, pp. 889 – 894, March, 2009.

### Beiträge in referierten Konferenzproceedings

1. S. Araújo, B. Sahan, P. Zacharias, R. Rupp, X. Zhang, "Application of SiC Normally-On JFETs in Photovoltaic Power Converters: Suitable Circuits and Potentials", *Proceedings of the International Conference on Silicon Carbide and Related Materials*, ICSCRM'09, October 2009
2. P. Zacharias, „Beiträge zur Netzregelung durch dezentrale Energieerzeugungsanlagen“, in Proc. *Internationaler ETG-Kongress 2009 – Leistungselektronik in Netzen*, Düsseldorf, Oktober, 2009.
3. L. Brabetz, M. Ayeb, and P. Zacharias, „Leistungselektronik in der Fahrzeugarchitektur“, in Proc. *E-MOTIVE Expertenforum Elektrische Fahrzeugantriebe*, Hannover, September, 2009.
4. P. Zacharias, "Decentralized Energy Distribution", in Proc. *13<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications*, Barcelona, September, 2009.
5. S. V. Araújo and P. Zacharias, "Analysis on the potential of Silicon Carbide MOSFETs and other innovative semiconductor technologies in the photovoltaic branch", in Proc. *13<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications*, pp. 1 – 10, September, 2009.
6. B. Koirala, B. Sahan and N. Henze, "Study on MPP Mismatch Losses in Photovoltaic Applications", in Proc. *24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Hamburg, September, 2009.
7. M. Heeb, F. Pfirsch, Th. Hunger, O. Schilling and P. Zacharias, "Carrier Transit Time Approximation for Prediction of PETT Oscillation in Power Diodes" in Proc. *European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion*, Nuremberg, May, 2009.
8. B. Sahan, S.V. Araújo, Th. Kirstein, L. Menezes and P. Zacharias, "Photovoltaic converter topologies suitable for SiC-JFETs", in Proc. *European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion*, Nuremberg, May, 2009.

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

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

### Bücher und Buchbeiträge

1. P. Zacharias et al., *Use of Electronic-based Power Conversion for Distributed and Renewable Energy Sources*. Kassel: ISET, 2<sup>nd</sup> ed., 2009.
2. S. Heier: *WINDKRAFTANLAGEN – Systemauslegung, Netzintegration und Regelung*. 2009. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 5. überarbeitete und aktualisierte Auflage, 482 Seiten, gebunden, fester Einband, ISBN: 978-3-8351-0142-5

## PUBLIKATIONEN 2008 – 2005

### Beiträge in referierten Fachzeitschriften

1. B. Sahan, A. Vergara Notholt, N. Henze, A. Engler and P. Zacharias, "A Single-Stage PV Module Integrated Converter Based on a Low-Power Current-Source Inverter" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 7, pp. 2602 – 2609, July, 2008.

### Beiträge in referierten Konferenzproceedings

1. N. Henze, B. Sahan, R. Burger and W. Belschner, "A Novel AC Module with High-Voltage Panels in CIS Technology", in Proc. of *23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Valencia, September, 2008.
2. N. Henze, B. Sahan and J. Liu, „Modulintegrierte Photovoltaik-Wechselrichter“ in Proc. of *13<sup>th</sup> Kassel Symposium Energy Systems Technology*, Kassel, September, 2008.
3. S. V. Araújo, R. P. Torrico-Bascopé, G.V. Torrico-Bascopé and L. M. Menezes, "Step-Up Converter with High Voltage Gain Employing Three-State Switching Cell and Voltage Multiplier", in Prof. *Power Electronics Specialists Conference 2008 (PESC)*, pp. 2271 – 2277, Rhodes, June, 2008.
4. S. V. Araújo, P. Zacharias, B. Sahan, "Novel Grid-Connected Non-Isolated Converters for Photovoltaic Systems with Grounded Generator", in Prof. *Power Electronics Specialists Conference 2008 (PESC)*, pp. 58 – 65, Rhodes, June, 2008.

- 5.** R.P. Venturini, V.V.R. Scarpa, S. Buso and G. Spiazzi, "Analysis of Limit Cycle Oscillations in Maximum Power Point Tracking Algorithms", in Prof. *Power Electronics Specialists Conference 2008 (PESC)*, pp. 378 – 384, Rhodes, June, 2008.
- 6.** F. Wang, F and P. Zacharias "Two Dimensional Thermal Modeling with Spreading Heat Flow and its Analytical Solution for Heat Sink Application in Electronics", in Proc. *Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM)*, May, 2008.
- 7.** P. Zacharias, L.M. Menezes and J. Fribe, "2 New Topologies for Transformerless Grid Connected PV-Systems with Minimum Switch Number", in Proc. *European Conference on Power Conversion and Intelligent Motion (PCIM)*, May, 2008.
- 8.** N. Henze, T. Bülo, J. Liu, A. Notholt Vergara, S. Ritter and B. Sahan, „Ein photovoltaisches AC-Modul in Hochvolt-Technologie“ in Proc. of *23. Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Staffelstein, March, 2008.
- 9.** P. Zacharias, „Wechselrichter für die Solartechnik – 20-Jahresbilanz und Zukunftsperspektiven“ in Proc. *23. Symposium Photovoltaische Solarenergie*, Staffelstein, March, 2008.
- 10.** V.V.R. Scarpa, S. Buso and G. Spiazzi, "Low Complexity Mppt Technique Exploiting The Effect Of The PV Cell Series Resistance", in Proc. of *Applied Power Electronics Specialists Conference and Exposition (APEC)*, pp. 1958 – 1964, Austin, February, 2008.
- 11.** F. B. Grigoletto, C.C. Gastaldini, F. L. Tomm, F. Beltrame, H. Sartori, M. Martins, M. S. G. Dias, R. Azzolin, T. Bernardes and H. Pinheiro, „Nova Modulação Space Vector para o controle da Tensão do Ponto Central do Divisor Capacitivo do NPC“ in Proc. of *XVII Brazilian Conference on Automation (CBA 2008)*, Juiz De Fora, 2008.
- 12.** M. S. G. Dias; L. C. de Souza Marques; A. Nied and J. de Oliveira, "Robust Control Of Permanent Magnet Synchronous Motor Based On Second-Order Sliding Mode Approach" in Proc. of *VIII International Conference Of Industrial Applications (INDUSCON)*, Poços De Caldas, 2008.
- 13.** P. Zacharias, „Topologische Ansätze für Wechselrichter in netzgekoppelten Photovoltaikanlagen“ in Proc. of *ETG-Fachtagung – Leistungselektronische Systeme für dezentrale Energieerzeugung*, München, 2008.
- 14.** S. Heier; R. Sajju; Tamzarti, A.: Performance Analysis of Small Wind Turbine Connected to a Grid through Modelling and Simulation. IEEE IECON 2007. The 33<sup>rd</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON). Nov. 5 – 8, 2007, Taipei, Taiwan.
- 15.** V.V.R. Scarpa, S. Buso and G. Spiazzi, "Cost-Effective Maximum Power Point Tracking For Battery Charging Applications" in Proc. of *Brazilian Conference on Power Electronics (COBEP)*, pp. 682 – 686, Blumenau, October, 2007.
- 16.** S. V. Araújo, P. Zacharias, B. Sahan, R. P. Torrico-Bascopé and F. L. M. Antunes, "Analysis and proposition of a PV module integrated converter with high voltage gain capability in a non-isolated topology" in Proc. of *7<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics (ICPE)*, Daegu, October, 2007.
- 17.** S. V. Araújo, A. Engler, B. Sahan and F. L. M. Antunes, "Optimization of a LCL Filter design for grid connected NPC inverters in offshore wind turbines" Proc. of *7<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics (ICPE)*, Daegu, October, 2007.
- 18.** S. V. Araújo, F. L. M. Antunes, B. Sahan and A. Engler, "Analysis And Design Of A LCL-filter for a NPC Inverter in Offshore Wind Power Conversion System" in Proc. of *Brazilian Conference on Power Electronics (COBEP)*, pp. 301 – 306, Blumenau, October, 2007.
- 19.** C. G. C. Branco, G. V. Torrico-Bascopé, R. P. Torrico-Bascopé, D. S. Oliveira, S. V. Araújo and F. L. M. Antunes, "Analysis, Design, And Implementation Of A General High Step-up DC-DC Converter" in Proc. of *Brazilian Conference on Power Electronics (COBEP)*, pp. 569 – 573, Blumenau, October, 2007.
- 20.** S.V Araújo, B. Sahan, F. L. M. Antunes, „Analysis and Design of a LCL filter for a NPC inverter for the application on in offshore wind power conversion systems“ in Proc. of *Brazilian Conference on Power Electronics (COBEP)*, pp. 301 – 306, Blumenau, October, 2007.
- 21.** P. Zacharias, M. Köhl, K. Vanoli and A. Herrfeld, „Qualifizierung und Qualitätssicherung zur Lebensdauer-Optimierung und Ertragskontrolle – Rückwirkungen auf Technologieentwicklung und Montage“ in Proc. of *Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie „Produktionstechnologien für die Solarenergie*, Hannover, September, 2007.
- 22.** T. Bülo, B. Sahan, C. Nöding, P. Zacharias, "Comparison of three-phase inverter topologies for grid connected photovoltaic systems" in Proc. of *22<sup>nd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Milan, September, 2007.
- 23.** B. Sahan, A. Notholt-Vergara, A. Engler and P. Zacharias, P: "Development of a Single-Stage Three-Phase PV Module Integrated Converter" in Proc. of *12<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications*, vol. 1 – 10, pp. 1154 – 1164, Aalborg, September, 2007.
- 24.** S. Heier: Wind Plant Development and State of the Art of Grid Connected Systems in Proc. of *World Renewable Energy Conference IX and Exhibition*. Florence, August, 2006.
- 25.** P. Zacharias, "Power Quality: Impact of Distributed Generation and Future Network Structure. Power Quality" in Proc. of *Symposium TU Eindhoven*, May 2007.
- 26.** B. Sahan, S. V. Araújo, A. Engler, and F. L. M. Antunes, "Design And Benchmark Of A Multilevel Converter For Large-Scale Wind Power Systems" in Proc. of *European Wind Energy Conference & Exhibition*, Milan, May, 2007.

- 27.** B. Sahan, S. V. Araújo, F. L. M. Antunes and A. Engler, "Design and benchmark of a Multilevel Converter for large-scale wind power systems", in Proc. of *European Wind Energy Conference & Exhibition*, Milan, May, 2007.
- 28.** G. V. Torrico-Bascope, R. P. Torrico-Bascope, D. S. Oliveira, F. L. M. Antunes, S. V. Araújo and C. G. C. Branco, "A generalized high voltage gain boost converter based on three-state switching cell" in Proc. of *IEEE 32<sup>nd</sup> Annual Conference on Industrial Electronics (IECON)*, pp. 1927 – 1932, November, 2006.
- 29.** S. V. Araújo, R. P. Torrico-Bascope, F. L. M. Antunes and E. Mineiro Sá, "Stand-alone Photovoltaic System using an UPS Inverter and a Microcontrolled Battery Charger based on a Boost Converter with a 3 State-Commutation Cell", in Proc. of *32<sup>nd</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, vol. 1 – 11, pp. 4381 – 4386, Paris, November, 2006.
- 30.** G. V. Torrico-Bascope, R. P. Torrico-Bascope, D. S. Oliveira, F. L. M. Antunes, S. V. Araújo and C. G. C. Branco, "A Generalized High Voltage Gain Boost Converter Based on Three-State Switching" in Proc. of *32<sup>nd</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, vol. 1 – 11, pp. 4297 – 4302, Paris, November, 2006.
- 31.** N. Henze, A. Engler and P. Zacharias, "Photovoltaic Module with integrated power conversion and interconnection system – The European Project PV-MIPS", in Proc. of *21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Dresden, September, 2006.
- 32.** P. Zacharias, B. Burger, "Overview of Recent Inverter Developments for Grid Connected Systems", in Proc. of *21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Dresden, September, 2006.
- 33.** P. Zacharias, J. Schmid and J. Vetter, „Export erneuerbarer Energietechniken – Ländliche Elektrifizierung“ in Proc. of *Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie*, Berlin, September, 2006.
- 34.** P. Zacharias, Chr. Wittwer, F. Trieb and U. Leprich, „Netzintegration der erneuerbaren Energien – Steuerung der Energieflüsse“ in Proc. of *Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie*, Berlin, September, 2006.
- 35.** Engler, H. Müller, N. Henze, T. Bülo, A. Notholt Vergara, B. Sahan and A. Zimpfer "Design of a 200w 3-Phase Module Integrated PV Inverter as Part of The European Project PV-MIPS" in Proc. of *21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Dresden, September, 2006.
- 36.** G. V. Torrico-Bascope, S. V. Araújo , R. Torrico-Bascopé, D. S. Oliveira, F. L. M. Antunes and C. G. C. Branco, "A High Step-Up DC-DC Converter based on Three-State Switching Cell" in Proc. of *International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, vol. 2, pp. 998 – 1003, Montreal, July, 2006.
- 37.** C. Strowitzki, M. Baumann and P. Zacharias, "A novel solid state pulsed power module for excimer laser" in Proc. of *27<sup>th</sup> International Power Modulator Symposium/2006 High Voltage Workshops*, pp. 207 – 210, Washington, May, 2006.
- 38.** S. V. Araújo, F. L. M. Antunes and R. Torrico-Bascopé, "Microcontrolled battery charger for photovoltaic systems using modified boost converter with autotransformer and 3-State commutation cell" in Proc. of *3<sup>rd</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference*, pp. 162 – 167, Aix-en-Provence, May, 2006.
- 39.** P. Zacharias, "Grid Integration of Renewable Energy Sources via Power Electronics", in Proc. of *ECPE-Seminar Renewable Energy*, Kassel, February, 2006.
- 40.** S. V. Araújo, F. M. Antunes, R. Torrico-Bascopé and S. Daher, "Microcontrolled battery charger for photovoltaic systems using modified boost converter with autotransformer and 3-State commutation cell" in Proc. of *VII International Conference on Industrial Appliances (INDUSCON)*, Recife, 2006.
- 41.** V. V. R. Scarpa, J. C. Oliveira, E. A. A. Coelho, L. C. de Freitas, V. J. Farias, and J. B. Vieira Jr., "Didatic kit employing FPGA for use in teaching digital logic design", in Proc. of *IEEE Workshop on Power Electronics Education*, pp. 105 – 107, June, 2005.
- 42.** P. Zacharias, B. Valov, K. Rohrig, S. Heier and G. Arnold, "Grid Integration of Wind Power – the Challenge" in *IEEE Seminar, Seminario sobre tecnologías de conversión de potencia para el sector de las energías renovables*, Sevilla, May, 2005

## Bücher und Buchbeiträge

1. P. Zacharias, „Elektronische Energiewandler für netzgekoppelte photovoltaische Solarenergieanlagen“ in *Leistungselektronische Schaltungen*, 2<sup>nd</sup> ed., Springer-Verlag GmbH, 2008, pp. 1069 – 1092.
2. P. Zacharias et al., *Use of Electronic-based Power Conversion for Distributed and Renewable Energy Sources*. Kassel: ISET, 1<sup>st</sup> ed., 2008.
3. S. Heier: *Nutzung der Windenergie*. 5. völlig überarb. Auflage, 160 Seiten, broschiert. Verlag Solarpraxis AG. Berlin, 2007. ISBN: 978-3-934595-63-7
4. S. Heier: *Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems*. 2. Auflage – April 2006. 446 Seiten, Hardcover. Wiley, Chichester, 2006. ISBN-10: 0-470-86899-6, ISBN-13: 978-0-470-86899-6

## PATENTE UND SCHUTZRECHTE

### Patente / Patents

#### KDEE:

in der Tradition von Erfindungsanmeldungen

*In the tradition of patents*

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

P. Zacharias, S. Araujo, A. Falk, M. Kazanbas, B. Sahan  
 DE 102009052461.4, „Wechselrichter-Schaltungsanordnung“,  
 9. November 2009.

P. Zacharis, R. Mallwitz, S. Araújo, B. Sahan  
 EP 09172672.9, „Blindleistungsfähiger Wechselrichter“,  
 9. Oktober 2009.

P. Zacharias, B. Engel, R. Mallwitz  
 EP 000002023475.A1, „Wechselrichter für eine geerdete Gleichspannungsquelle, insbesondere einen Photovoltaikgenerator“,  
 04. August 2009

P. Zacharias, B. Sahan  
 DE 102007028077.B4, „Vorrichtung zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz und Gleichspannungswandler für eine solche Vorrichtung“, 16. April 2009.

P. Zacharias, B. Sahan  
 DE 102007028078.B4, „Vorrichtung zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz und Gleichspannungswandler für eine solche Vorrichtung“, 16. April 2009.

### UniKasselTransfer

P. Zacharias, J. Fribe, F. Blumenstein, A-K. Gerlach,  
 I. Scheuermann, M. Zinn  
 DE 102007038960.A1, „Vorrichtung zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz und Gleichspannungswandler für eine solche Vorrichtung“, 26. Februar 2009.

P. Zacharias, B. Sahan  
 DE 102007030577.A1, „Wechselrichter zur Einspeisung elektrischer Energie in ein Energieversorgungsnetz“, 02. Januar 2009.

J. Fribe, R. Mallwitz, P. Zacharis  
 EP 000002136465.A1 „Wechselrichter in Brückenschaltung mit langsam und schnell getakten Schaltern“, 18.Juni 2008.

S. Heier  
 DE 102007035570.1, „Doppelt gespeister Asynchrongenerator und Verfahren zu dessen Betrieb“, 26. Juli 2007



**ÖFFENTLICH GEFÖRDERTE PROJEKTE****PUBLICALLY FUNDED PROJECTS****RAVE „Netzintegration von Offshore-Windparks“**

[Research at alpha ventus (RAVE)]

Förderkennzeichen 0325002

Verbundvorhaben: „**MagnetRing** – Vorentwicklung von magnetisch gelagerten WEA-Ringgeneratoren“

Förderkennzeichen 0325173B

Programm „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“  
Kooperationsprojekt „**Entwicklung eines getriebelosen Energiemoduls auf der Basis von Synchronmaschinen für Offshore**“

Förderkennzeichen KF2230202TL9

**100%-Erneuerbare-Energie-Regionen**

BMU-Förderkennzeichen: 0325007A; 0325007B

**PV-EMS** (Photovoltaische Energiemanagement-Station)-Netzintegration und Kostensenkung, Bundesprojekt, BMU,

Laufzeit: 2008 – 2012

Förderkennzeichen: 0325028

**MEDRES** – Konzeptstudien mit verteilten Erzeugungssystemen für die Stromversorgung in Nordafrika, Laufzeit: 2007 – 2009**Multi-PV** Multifunktionale Photovoltaik-Stromrichter – Optimierung von Industrienetzen und öffentlichen Netzen, Bundesprojekt, Laufzeit: 2005 – 2009

## MITARBEITER DES KDEE/EVS

### Leitung



**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Peter Zacharias**  
KDEE/EVS

### Stellvertretende Leitung / Leitung Windkrafttechnik



**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Siegfried Heier**  
KDEE/EVS

### Sekretariat



**Frau Anja Clark-Carina**  
KDEE/EVS

### Mitarbeiter KDEE



Gruppenleiter Leistungselektronik  
**Dipl.-Ing. Benjamin Sahan**  
KDEE



**Giorgos Lempidis, B.Sc.**  
KDEE



**Samuel Araujo, M.Sc.**  
KDEE



**Dipl.-Ing. Christian Nöding**  
KDEE



**Milena Dias, M.Sc.**  
KDEE



**Dipl.-Ing. Marek Rzeszut**  
KDEE



**Dipl.-Ing. Mehmet Kazanbas**  
KDEE



**Dr.-Ing. Vladimir Scarpa**  
KDEE



**Dipl.-Ing. Thomas Kirstein**  
KDEE

**Mitarbeiter EVS**

**Techn. Volker Berge**  
EVS

**Dipl.-Ing. Bernd Gruß**  
EVS



**Jean Patric da Costa, M.Sc.**  
EVS



**Dipl.-Ing. Michael Heeb**  
EVS



**Dipl.-Ing. Werner Döring**  
EVS



**Katharina Messoll, M.Sc.**  
EVS



**Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Christof Dziendziol, M.Sc.**  
EVS



**Techn. Bernhard Siano**  
EVS



**Dipl.-Ing. Adil Ezzahraouoi**  
EVS



**Dipl.-Ing. Jella Zimmermann**  
EVS

**Doktoranden und Gastwissenschaftler**

**Dipl.-Ing. Dario Lafferte**  
KDEE/EVS



**Lucas Menezes, M.Sc.**  
KDEE/EVS



**Likaa Fahmi Ahmed Izzat, M.Sc.**  
EVS

**Wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte**

**Dipl.-Ing. Mohannad Dawood**  
KDEE

**Stefan Gertjegerdes, B.Sc.**  
KDEE

**Dipl.-Ing. Robert Tannhaeuser**  
KDEE

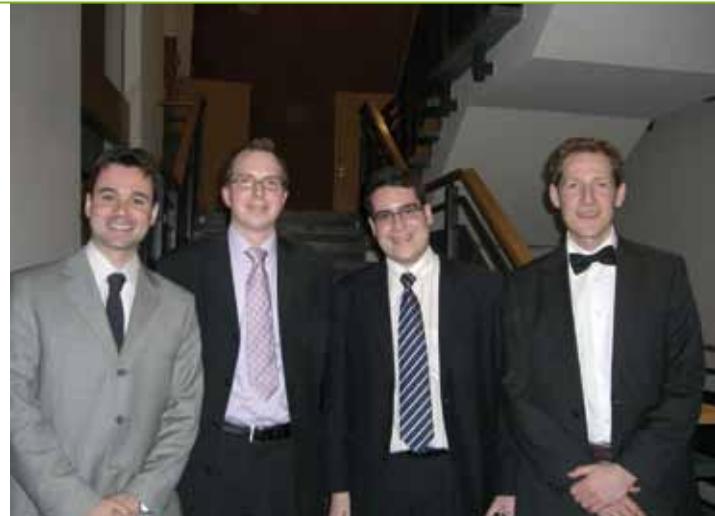
**Praktikanten**

**Herr Christopher Damm**  
KDEE/EVS

Hallenfussball  
*Football indoors*



Eon Marathon KDEE-Staffel 2009



Oper/ Staatstheater Kassel  
Universitätstag  
*Special Opera day for  
university of Kassel members*



Weihnachtsfeier  
*Christmas party*





# **Kompetenzzentrum für Dezentrale Elektrische Energieversorgungstechnik**

Centre of Competence for Distributed Electric Power Technology

Universität Kassel  
Wilhelmshöher Allee 71

D-34121 Kassel / Germany

Tel.: +49 561 804 6344  
Fax: +49 561 804 6521

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

Stand: März 2010