

Jahresbericht 2018

der Lehrstühle für

- Elektrische Antriebssysteme
- Elektrische Netze und Erneuerbare Energie
- Elektromagnetische Verträglichkeit
- Leistungselektronik



FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Jahr 2018 neigt sich dem Ende zu, und so möchten wir Sie mit diesem Jahresbericht wieder über die neuesten Entwicklungen, Lehrveranstaltungen und Forschungsaktivitäten an den Lehrstühlen für „Elektrische Antriebssysteme“, „Elektrische Netze und Erneuerbare Energie“, „Leistungselektronik“ und „Elektromagnetische Verträglichkeit“ informieren.

Ein besonderes Highlight 2018 war zweifelsfrei die Eröffnung unseres Netzleitstands gleich zu Beginn des Jahres. Unter Anwesenheit von Wirtschaftsminister Willingmann, der Hochschulleitung und zahlreicher Forschungspartner konnten wir im Januar das vom Land Sachsen-Anhalt und der DFG kofinanzierte Großgerät mit einer Gesamtinvestitionssumme von über einer halben Million Euro feierlich in Betrieb nehmen.

Auch in diesem Jahr haben wir in zahlreichen Forschungsprojekten Antworten auf die vielfältigen, drängenden Fragen der Energietechnik finden können. So haben wir im August das BMWi-geförderte Projekt „DGCC“ erfolgreich beendet und zwei neue Projekte („ILEP“ und „RE-FLEX“) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms gewonnen.

Hervorzuheben ist auch die hohe Anzahl an Veröffentlichungen sowie die Beteiligung an und Organisation von wissenschaftlichen Konferenzen und Tagungen. Kollege Lindemann vom Lehrstuhl Leistungselektronik leitete im März die VDE-Konferenz CIPS 2018 in Stuttgart. Der Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie hat im Rahmen des Forschungsprojekts „SmartMES“ ein Statusseminar in Magdeburg und im Auftrag der ETG in Hannover eine Fachtagung „Sektorenkopplung“ organisiert. Darüber hinaus haben wir unsere wissenschaftlichen Erkenntnisse auf zahlreichen Konferenzen einem breiten, internationalen Fachpublikum vorgestellt. Besonders hervorzuheben sind hierbei das IEEE General Meeting in Portland, die IEEE ISGT in Sarajevo und die IEEE EnergyCon in Zypern.

In der Lehre bieten wir fakultätsübergreifend über 40 Lehrveranstaltungen an. Der Lehrstuhl Elektrische Antriebssysteme hat das Angebot in diesem Jahr durch die neuen Wahlpflichtmodule „Einführung in die Theorie elektrischer Maschinen“ und „Grundlagen der Berechnung und Auslegung elektrischer Maschinen“ erweitert. Die im Jahr 2018 betreuten 32 studentischen Forschungsprojekte, 11 Bachelorarbeiten und 54 Masterarbeiten zeigen, dass die Energieforschung ein spannendes und nachgefragtes Themenfeld bietet.

Im Rahmen der Kooperation mit der TU Ilmenau waren Magdeburger Forscher zu einem zweitägigen wissenschaftlichen Gedankenaustausch beim Fachgebiet Elektrische Energieversorgung von Herrn Prof. Westermann zu Gast. Auch die langjährige, enge Kooperation mit den Universitäten in Hannover, Dresden und Duisburg-Essen im Rahmen des Dresdener Kreises, der 2018 in Magdeburg stattfand, wurde fortgeführt. Der plötzliche und unerwartete Tod des Duisburger Kollegen István Erlich hat uns alle tief getroffen und bestürzt. Wir haben einen hoch geschätzten Forscherkollegen und langjährigen Freund verloren.

Ich möchte mich an dieser Stelle auch im Namen meiner Kollegen recht herzlich bei allen Freunden, Förderern und Kooperationspartnern für die Unterstützung und Zusammenarbeit bedanken. Unser Dank gilt auch dem BMWi, dem BMBF, dem Land Sachsen-Anhalt, der DFG und allen Industriepartnern, die uns durch Ihre Aufträge und ihre Spenden unterstützt haben. Wir freuen uns darauf, diese erfolgreiche Zusammenarbeit im kommenden Jahr fortzuführen.

Im Namen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wünsche ich Ihnen eine besinnliche Weihnachtszeit sowie ein gesundes und erfolgreiches Jahr 2019.

Magdeburg, im Dezember 2018

Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Geschäftsführender Leiter des Instituts für elektrische Energiesysteme (IESY)

Inhaltsverzeichnis

1	Personalia	1
1.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	1
1.1.1	Hochschullehrer	1
1.1.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten	1
1.1.3	Gastwissenschaftler	1
1.1.4	Externe Promovenden	1
1.1.5	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	2
1.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	2
1.2.1	Hochschullehrer	2
1.2.2	Lehrbeauftragte	2
1.2.3	Wissenschaftliche Mitarbeiter	2
1.2.4	Externe Promovenden	3
1.2.5	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
1.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	3
1.3.1	Hochschullehrer	3
1.3.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter	3
1.3.3	Externe Promovenden	3
1.3.4	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
1.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	4
1.4.1	Hochschullehrer	4
1.4.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter	4
1.4.3	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	4
1.5	Institutsebene	4
1.5.1	Technik	4
1.5.2	Verwaltung	4
2	Studium und Lehre	5
2.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	5
2.1.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	5
2.1.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	12
2.1.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	12
2.1.4	Abgeschlossene Masterarbeiten	12
2.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	14
2.2.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	14
2.2.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	19
2.2.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	20
2.2.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	20
2.2.5	Praktikantenbetreuung	22
2.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	23
2.3.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	23
2.3.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	31
2.3.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	31
2.3.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	31
2.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	32
2.4.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	32

2.4.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	34
2.4.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	37
2.4.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	37
2.5	Institutsebene	38
2.5.1	IEEE Student Branch Magdeburg	38
2.5.2	Kooperationen	42
2.5.3	Exkursionen	44
2.5.4	Studienwerbung	47
2.5.5	Preise	51
2.5.6	Workshops	53
3	Forschung	55
3.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	55
3.1.1	Forschungsprofil	55
3.1.2	Forschungsprojekte	57
3.1.3	Promotionen	64
3.1.4	Veröffentlichungen	66
3.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	68
3.2.1	Forschungsprofil	68
3.2.2	Forschungsprojekte	68
3.2.3	Promotionen	78
3.2.4	Veröffentlichungen	79
3.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	82
3.3.1	Forschungsprofil	82
3.3.2	Forschungsprojekte	83
3.3.3	Promotionen	98
3.3.4	Veröffentlichungen	98
3.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	102
3.4.1	Forschungsprofil	102
3.4.2	Forschungsprojekte	102
3.4.3	Veröffentlichungen	108
3.4.4	Veranstaltungen	109
3.5	Institutsebene	111
3.5.1	Technische Gremien und Verbände	111
3.5.2	Kolloquien	112

1 Personalia

1.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

1.1.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
(Lehrstuhlleiter)

1.1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten

- M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh (bis 30.06.2018)
- Dipl.-Ing. Andreas Bannack
- M. Sc. Sebastian Benecke
- Dipl.-Ing. Niklas Förster (bis 31.07.2018)
- Dipl.-Ing. Andreas Gerlach
- M. Sc. Sebastian Hieke (bis 30.06.2018)
- M. Sc. Benjamin Horn
- Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt (Mitglied des Vorstandes des Instituts für elektrische Energiesysteme)
- Dr.-Ing. Mario Stamann
- M. Sc. Oleksandr Tyshakin (bis 30.04.2018)
- M. Sc. Zhao Zhao

1.1.3 Gastwissenschaftler

- Milkias Berhanu Tuka, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Zenachew Muluneh Hailemariam, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Prof. Dr. Pablo de la Barrera, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentinien
- Prof. Dr. Guillermo Catuogno, National University of San Luis, Argentinien
- Marcial Otero, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentinien
- Dr.-Ing. Ahmed Hassan, Aswan University, Ägypten

1.1.4 Externe Promovenden

- Serhii Dymko, National Technical University of Ukraine „Kyiv Polytechnic Institute“
- Henning S. Vogt, Volkswagen AG, Konzernforschung
- Aleksej Kieselev, TH Mittelhessen, Friedberg
- Johannes M. Schäfer, Volkswagen AG, Konzernforschung
- Shokoofeh Abbaszadeh
- Niklas Förster

1.1.5 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Andrea Wohner (Sekretärin)

1.2 Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

1.2.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
(Lehrstuhlleiter)
- Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer
(Juniorprofessorin für Elektrische Energiespeichersysteme)
- Prof. Dr.-Ing. Rainer Krebs – Siemens AG, Erlangen
(Honorarprofessor: Fachgebiet Netzschutz und Leittechnik)

1.2.2 Lehrbeauftragte

- Dr.-Ing. Pio Lombardi, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg
- Dr.-Ing. André Naumann, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg
- Dr.-Ing. Christoph Wenge, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg

1.2.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- M. Sc. Stephan Balischewski
- M. Sc. Iryna Chychykina
- M. Sc. Jonte Dancker
- M. Sc. Nicola Gast
- M. Sc. Marc Gebhardt
- M. Sc. Mahmood Gholizadeh
- M. Sc. Eric Glende
- M. Sc. Sebastian Helm
- Dr.-Ing. Maik Heuer
- M. Sc. Mykola Ivanchykov (bis 31.10.2018)
- M. Sc. Christian Klabunde
- M. Sc. Philipp Kühne
- M. Sc. André Richter
- M. Sc. Christian Rinne
- M. Sc. Przemyslaw Trojan
- M. Sc. Tamara Schröter
- Dipl.-Ing. Michael Wenske
- M. Sc. Tahaguas Woldu
- M. Sc. Yonggang Zhang
- M. Sc. Christian Ziegler

1.2.4 Externe Promovenden

- M. Eng. Maik Plenz, Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg
- M. Eng. Karsten Schatz, HanseWerk AG, Quickborn
- Dipl.-Ing. Mike Weber, 50Hertz Transmission GmbH, Berlin
- M. Sc. Anna Shchetkina, Netze Magdeburg GmbH
- M. Sc. Jenny Gronau, 50Hertz Transmission GmbH, Berlin
- M. Sc. Liang Tao, Siemens AG, Erlangen

1.2.5 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Melanie Baumgarten (Sekretärin)

1.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

1.3.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick

(Lehrstuhlleiter am Institut für Medizintechnik, Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik)

1.3.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko
- Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid
- Dr.-Ing. Mathias Magdowski
- Dipl.-Phys. Jörg Petzold
- M. Sc. Anke Fröbel
- M. Sc. Johanna Kasper
- M. Sc. Thomas Gerlach
- M. Sc. Enrico Pannicke
- M. Sc. Moustafa Raya
- M. Sc. Benjamin Hoepfner
- M. Sc. Felix Middelstädt

1.3.3 Externe Promovenden

- M. Sc. Benjamin Willmann, Volkswagen AG, Wolfsburg
- M. Sc. Farzin Godarzi, Solibra System Montage GmbH, Koblenz

1.3.4 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Janet Morscheck (Sekretärin)

1.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

1.4.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
(Lehrstuhlleiter)

1.4.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- M. Sc. Anton Chupryn (ab 01.10.2018)
- Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
- Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
- M. Sc. Carsten Kempiak
- M. Sc. Lars Middelstädt
- Dipl.-Ing. Bastian Strauß (bis 31.07.2018)

1.4.3 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Melanie Baumgarten (Sekretärin)

1.5 Institutsebene

1.5.1 Technik

- Dipl.-Ing. Uwe Göranson (Leiterplattenlabor und Rechnernetz sowie Gleichstellungsbeauftragter der FEIT ab 01.07.2018)
- Dipl.-Ing. Katharina Mecke (Werkstofflabor und Videotechnik)
- Jens-Uwe Schulz (Meister, Werkstatt)
- Lothar Griep (Werkstatt)
- Helge Müller (Werkstatt)
- Paula-Lilith Fötsch (Auszubildende Werkstatt)
- Hannes Albrecht (Auszubildender Werkstatt)

1.5.2 Verwaltung

- Martina Krieger (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für elektrische Energiesysteme)
- Katja Grohe-Gottsching (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für Medizintechnik)

2 Studium und Lehre

Abkürzungen:

SS Sommersemester

WS Wintersemester

V Vorlesung

Ü Übung

P Praktikum

S Seminar

SWS Semesterwochenstunden

2.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

2.1.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Allgemeine Elektrotechnik 2

— Electrical engineering and electronics —

SS	V 2 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Andreas Bannack
	P 1 SWS:	M. Sc. Sebastian Benecke
	P 1 SWS:	Dipl.-Ing. Detlef Baumecker
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
	Ü 1 SWS:	Dipl.-Ing. Andreas Bannack
	Ü 1 SWS:	M. Sc. Lars Mittelstädt

Die Lehrveranstaltung wendet sich an Studierenden nicht-elektrotechnischer Studienrichtungen und vermittelt anwendungsbezogenes Grundwissen. Die Studierenden sollen in die Lage versetzt werden, die grundlegende Wirkungsweise und das Verhalten von elektrischen Maschinen und elektronischen Schaltungen nachzuvollziehen. Die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten der Elektrotechnik sollen erkannt werden. Einfache Berechnungen und elementare Versuche im Labor werden durchgeführt.

- Elektrische Maschinen
- Analog- und Digitalschaltungen
- Grundlagen der Elektronik
- Leistungselektronik
- Messung elektrischer Größen
- Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen

— Allgemeine Elektrotechnik 1 vgl. auch Abschnitt 2.4.1 —

Elektrische Antriebssysteme

— Electrical drive systems —

WS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt Dr.-Ing. Mario Stamann
SS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt Dipl.-Ing. Andreas Bannack

Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, die Einsatzmöglichkeiten der elektrischen Maschinen zu bewerten und elektrische Antriebssysteme grundlegend zu berechnen. Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden, die stationären und dynamischen Modelle der einzelnen Bestandteile eines Antriebssystems, sowie dessen Wechselwirkung nachvollziehen. Sie sind befähigt, elektrische Maschinen und einfache Antriebssysteme im Labor zu prüfen.

- Aufgaben, Funktionsgruppen und Struktur der elektrischen Antriebssysteme
- Stationäres und dynamischen Verhalten der Arbeitsmaschinen
- Modell der Gleichstrommaschine
- Drehmomentregelung
- Raumzeigerdarstellung zur Analyse von Drehfeldmaschinen
- Modell der permanenterregten Synchronmaschine
- Vereinfachtes Modell der Asynchronmaschine
- Thermische Vorgänge
- Wirkungsgrad des Antriebssystems

Geregelte elektrische Antriebe

— Controlled electrical drives —

SS	V 2 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Mario Stamann
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt Dr.-Ing. Mario Stamann

Die Studierenden verfügen am Ende des Moduls über Kenntnisse zur Regelung von elektrischen Antrieben. Sie lernen geeignete Methoden für die Optimierung des Führungs- und Störverhaltens im Zeit- und Frequenzbereich kennen und anzuwenden. Neben kontinuierlichen Systemen, werden auch die speziellen Eigenschaften abgetasteter Systeme behandelt und die Möglichkeiten diskontinuierlicher, rechnergestützter Antriebsregelungen aufgezeigt. In Themenbezogenen Praktika und Übungen werden die vermittelten Methoden vertieft, eigenständig implementiert und nach technischen Gesichtspunkten beurteilt.

- Einführung geregelte elektrische Antriebe
- Dynamische Eigenschaften von elektrischen Antrieben
- Reglerentwurfverfahren für kontinuierliche und abgetastete (digital) Antriebssysteme
- Sollwertvorsteuerung und optimale Trajektorienplanung
- Störgrößenbeobachter

Regelung von Drehstrommaschinen

— Control of AC Machines —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mario Stamann

Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, die Modelle der einzelnen Drehstrommaschinen und die damit verbundene Raumzeigerdarstellung nachzuvollziehen. Sie sind befähigt, die Methoden zur Regelung von Drehstrommaschinen anzuwenden und die entsprechenden Regelkreise auszulegen. Sie können Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Maschinentypen und Regelungsmethoden je nach Anwendung bewerten.

- Optimierung von Regelkreisen
- Wechselrichter als Stellglied
- Raumzeigerdarstellung
- Modell der permanenterregten Synchronmaschine
- Feldorientierte Regelung der permanenterregten Synchronmaschine
- Modell der Asynchronmaschine
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine
- Direct Torque Control (DTC)
- Doppelt-gespeiste Asynchronmaschine als Generator
- Fremderregte Synchronmaschine als Generator

Elektrische Fahrtriebe

— Electric traction drives —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mario Stamann
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh

- Aufgaben und Struktur von Antriebssystemen
- Kenngrößen von Bewegungsvorgängen und Lasten – insbesondere elektrischer Fahrtriebe
- Mechanik des Antriebssystems, typische Widerstandsmomenten-Kennlinien von Lasten – insbesondere elektrischer Fahrtriebe
- das mechanische Übertragungssystem
- stationäres und dynamisches Verhalten von ausgewählten elektrischen Maschinen, ihre Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinien, sowie Verfahren und Funktionsgruppen für die Drehzahlstellung
- Schaltungsanordnungen und Steuerverfahren für den Anlauf, die Bremsung und die Drehzahlstellung von Drehstromantrieben
- Strukturen geregelter elektrischer Antriebe

Modellierung und Simulation elektrischer Antriebe, Seminar

— Modelling and simulation of electrical drives —

WS V 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dipl.-Ing. Niklas Förster

Die Studierenden werden befähigt, komplexe elektromechanische Systeme zweckmäßig zu modellieren. Sie erwerben Kenntnisse zur Nutzung geeigneter Simulationssoftware (MATLAB, Comsol) und zur Interpretation von Simulationsergebnissen. Anhand von Modellen und unter Verwendung von Simulationen lernen die TeilnehmerInnen, elektromechanische Systeme zu analysieren, auszulegen und zu optimieren sowie Regelungen zu entwerfen.

- Simulationssoftware
- Modellbildung von elektrischen Maschinen, mechanischen Systemen, leistungselektronischen Stellgliedern, Sensoren und Regler in Betrachtung der Komplexität und Qualität
- Modellreduktion
- Schnittstellen zwischen mechanischen, elektrischen, magnetischen und thermischen Systemen
- Einheitlicher Ansatz zur Modellierung von elektromechanischen Systemen
- Modellierung komplexer elektromechanischer Systeme
- Regelungstechnische Modelle
- Validierung der Modelle, Planung der Simulationsversuche und Auswertung der Ergebnisse
- Simulationsbasierte Auslegung elektromechanischer Systeme

Speicherprogrammierbare Antriebssteuerungen

— Programmable-logic controlled drives —

SS V 2 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
P 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack

- Aufgaben und Einsatzgebiete von Speicherprogrammierbaren Antriebssteuerungen
- Steuerschaltung für Asynchronmaschinen (zum Anlassen, Bremsen, Reversieren und zur Drehzahlsteuerung)
- binäre Steuerungstechnik (Realisierungsarten, Automatenstrukturen, dynamisches Verhalten und Optimierung binärer Steuerungen, Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit)
- SPS-Anlagen für Antriebssteuerungen (Darstellung, Beschreibungsarten, Fachsprachen, Programmierung, Testung und Inbetriebnahme)
- binäre Maschinen- und Anlagensteuerungen
- Programmierübungen an SPS-gesteuerten Antriebsanlagen
- speicherprogrammierbare Antriebsregelungen (Realisierungsarten, Programmstrukturen, digitale Messwerterfassung von Strom, Spannung, Drehzahl und Lage, Beschreibungsarten und Programmieroberflächen, Parametrierung von Umrichteranlagen, praktische Übungen an einer Antriebsautomatisierungsanlage)

Elektrische Maschinen

— Electrical machines —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Niklas Förster
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Dipl.-Ing. Andreas Gerlach

Studierende sollen in die Lage versetzt werden, die Wirkungsweise der relevanten elektrischen Maschinen nachzuvollziehen. Sie können Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Maschinentypen und Aufbauvarianten bewerten. Sie sind befähigt die Modelle der Maschinen in stationären Zustand, zur Analyse des Betriebsverhaltens und Berechnung grundlegenden Einsatzfällen, anzuwenden. Sie können einschlägige Maßnahmen zur Wirkungsgradverbesserung der elektrischen Maschinen ergreifen.

- Magnetkreise
- Gleichstrommaschine
- Transformator
- Drehfeld
- Asynchronmaschine
- Synchronmaschine
- Wirkungsgrad
- Auswahl elektrischer Maschinen

Unkonventionelle elektrische Maschinen

— Unconventional Electrical Machines —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
M. Sc. Sebastian Hieke
M. Sc. Benjamin Horn

Die Lehrveranstaltung vermittelt erweiterte Kenntnisse zu den elektrischen Maschinen und Aktoren, die in den Grundvorlesungen nicht angesprochen werden. Die Studierenden können somit die Wirkungsweise, das dynamischen Verhalten und die Regelung der behandelten Maschinen nachvollziehen. Sie werden befähigt, die Integration der Maschinen in mechanischen Systemen zu analysieren und zu projektieren.

- Elektromechanische Energiewandlung
- Elektrische Maschinen mit begrenzter Bewegung
- Reluktanzmaschinen
- Schrittmotoren
- Elektronisch kommutierte Gleichstrommaschine
- Linearmotoren
- Piezoaktoren

Generatorsysteme zur regenerativen Energieerzeugung

— Generator Systems for Renewable Energy —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Gerlach
Ü 1 SWS: M.Sc. Sebastian Hieke

Dieses Modul soll die Studierenden in die Lage versetzen, die Randbedingungen der regenerativen Energieerzeugung und die Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen elektrischen Maschinen nachzuvollziehen. Die Studierenden sind befähigt die elektrische Maschinen zu dimensionieren und die grundlegende Regelungsmethoden zur Optimierung der Energiegewinnung auszulegen (Maximum-Power-Point-Tracking).

- Ziele der Regelung in Generatorsystemen
- Elektrische Maschinen im Generatorbetrieb
- Leistungselektronische Systeme für Generatoren
- Generatorsysteme mit konstanter Drehzahl
- Drehzahlvariable Generatorsysteme
- Optimierung der Energiegewinnung durch Regelung
- Generatorsysteme für alternierenden Energiequellen (z. B. Wellenkraftwerke)
- Lineargenerator
- Glättung der Ausgangsleistung (z. B. Schwungradspeicher, Ultracaps)

Analyse und Berechnung elektromechanischer Strukturen Teilmodul II, Seminar

— Analysis and calculation electromechanical structures —

WS S 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dr.-Ing. Niklas Förster

- Modellbildung von elektrischen Maschinen, mechanischen Systemen, leistungselektronischen Stellgliedern, Sensoren und Regler in Betrachtung der Komplexität und Qualität
- Simulationssoftware
- Modellreduktion
- Einheitlicher Ansatz zur Modellierung von elektromechanischen Systemen
- Schnittstellen zwischen mechanischen, elektrischen, magnetischen und thermischen Systemen
- Regelungstechnische Modelle
- Modellierung komplexer elektromechanischer Systeme

NEU: Einführung in die Theorie der elektrischen Maschinen

— Introduction to the theory of electrical machines —

WS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
	Ü 1 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
	Ü 1 SWS	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic

Die Lehrveranstaltung vermittelt erweiterte Kenntnisse zur Wirkungsweise der elektrischen Maschinen. Die Studierenden können somit die Zusammenhänge zwischen den elektrischen Größen, mechanischen Größen und Konstruktionsmerkmalen nachvollziehen. Dieses Modul stellt erforderliche Grundlagen, die für den Entwurf von elektrischen Maschinen notwendig sind.

- Wicklungen, Ströme und Luftspaltdurchflutung
- Luftspaltdurchflutung und Induktion
- Ersatzschaltbilder elektrischer Maschinen
- Kraft und Drehmoment in elektrischen Maschinen
- stationäres Betriebsverhalten der Asynchronmaschine
- Kommutatormaschinen in stationärem Zustand
- stationäres Verhalten der Synchronmaschine
- Dynamisches Verhalten elektrischer Maschinen - grundlegende Betrachtungen

NEU: Grundlagen der Berechnung und Auslegung elektrischer Maschinen

— Basics of calculation and design of electrical machines —

WS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
	Ü 1 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic
	Ü 1 SWS	Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic

- Symmetrische Drehfeldwicklungen
- Induzierte Spannung und Wicklungsfaktoren
- Ersatzschaltbilder elektrischer Maschinen
- Magnetfeld einer stromdurchflossenen Wicklung
- Kräfte im Magnetfeld
- Kraftwirkungen in elektrischen Maschinen
- Luftspaltinduktivität
- Nutstreuinduktivitäten
- Stromverdrängung
- Berechnung des magnetischen Kreises elektrischer Maschinen
- Erwärmung und Kühlung
- Berechnungsbeispiele

Die Lehrveranstaltung vermittelt tiefgründige Kenntnisse der elektrischen Maschinen. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, elektrische Maschinen zu berechnen, auszulegen und zu optimieren.

2.1.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Marcel Gerlach: Rendezvoussteuerung einer fliegenden Schere
2. Clemens Wild: Inbetriebnahme und Konfiguration eines Netzwechselrichters – Smart-Wind
3. Anatolii Grydin: Feldorientierte Regelung einer Synchronmaschine mit einem Infineon XMC4500@-Cortex@-M4-Mikrocontroller
4. Wilhelm Richter: Implementierung eines FFT-Algorithmus auf einem Infineon XMC4500@-Cortex-@-M4-Mikrocontroller
5. Martin Fritsch: Modellierung und Simulation eines Ventilators für einen Freikolbenmotor
6. Sebastian Härtel: Aufbau und Dokumentation des GENIAL-Laborversuchsstands
7. Theo Richter: Winkelgleichlaufregelung zweier Antriebe unter Berücksichtigung der Verkopplung der Momente
8. Wilhelm Biermann: Auswahl einer geeigneten 3-Phasen-Brückenschaltung zur Regelung von Drehstrommotoren
9. Pavlo Khomchenko: Simulation, Implementierung und Inbetriebnahme einer modellprädikativen Regelung (MPC) auf einem Mikrocontroller
10. Franziska Klemm: Messmittelfähigkeitsanalyse

2.1.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Fabian Kelch: Entwicklung und Umsetzung eines Systems zur Betriebsdatenerfassung an Elektromaschinen
2. Niels Horna: Dynamische Bahnplanung für ein fahrerloses Transportsystem im Kontext eines Logistikszenarios
3. Jonas A. Kaiser: Entwicklung eines Mess- und Regelungssystems für die Untersuchungen an einer Wasserradflottille

2.1.4 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Sebastian Härtel: Inbetriebnahme und Regelung eines Scheibenläufers
2. Franziska Klemm: Grundsatzuntersuchung zur Verwendbarkeit von Ganzmetallkissen als vibrationsdämpfende Maßnahme für Kältemittelkompressoren im Haushaltsbereich
3. Thomas Aab: Auslegung einer Synchron-Reluktanz-Maschine
4. Hannes Kühn: Konstruktion und Simulation einer direktgekoppelten Generator-Wasserrad-Kombination mit transversaler Flussführung
5. Anni Heckert: Optimierung und Fernwartung von regenerativen Energieerzeugungsanlagen
6. Dmytro Kissa: Leistungsregelung langsamlaufender direktangetriebener Generatoren zur optimalen Energiegewinnung
7. Pandya Tanvee: Development of current control strategies for reluctance actuators

8. Theo Richter: Analoge Regelung eines Gleichstrommotors mit XMC-4700-Controller
9. Martin Fritsch: Regelung des Luftmassenstroms eines Einzylindermotors
10. Wilhelm Richter: Regelung einer 2-phasigen Maschine mit XMC-4700-Controller
11. Martin Fritsch: Regelung des Luftmassenstroms eines Einzylindermotors
12. Clemens Wild: Technische Realisierung einer Phasenregelschleife für den Netzwechselrichterbetrieb

2.2 Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

2.2.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Elektrische Energieversorgung

— Electric Power Supply—

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. André Richter
P 1 SWS: M. Sc. André Richter

- Einführung in die Aufgaben der Netzplanung und Netzbetriebsführung
- Einführung in die Hochspannungsgleichstromübertragung
- Lastflusssteuernde Betriebsmittel und Kompensationsanlagen
- Grundlagen der Supraleitung
- Einführung in die Thematiken der Sternpunktbehandlung, Traforegelung und des Netzschutzes

Elektrische Netze 1

— Electric Power Networks 1 —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. André Richter

- Statische Betriebsmittelmodellierung
- Statische Netzberechnungsverfahren
 - Modale Komponenten
 - Topologiebeschreibung elektrischer Netze
 - Leistungsflussberechnung
 - Kurzschlussstromberechnung
 - Netzzustandsschätzung (State Estimation)
 - Winkelstabilität
 - Fehlerberechnung
- Netzberechnung mit MATLAB

Elektrische Netze 2

— Electric Power Networks 2 - Power System Dynamics —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Ines Hauer

- Dynamische Netzberechnungsverfahren
 - Modale Komponenten
 - Zustandsraumdarstellung
 - Erweitertes Knotenpunktverfahren
 - Netzstabilitätsanalyse
- Dynamische Betriebsmittelmodellierung
 - Generatoren und Motoren
 - Effekte elektrischer Schalthandlungen
- Regelungsverfahren elektrischer Generatorsysteme
- Spannungsqualität (Power Quality)

Elektromobilität

— Electromobility —

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Christoph Wenge
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Christoph Wenge

- Einführung
- Physikalisch-technische Grundlagen (Stufen der Elektrifizierung, Kräfte, Energiewandlungskette)
- Modellierung und Simulation
- Komponenten (Energiespeicher, Bordnetz)
- Mobilitätssysteme (Motivation, Potential, Ladeinfrastruktur, Komponenten, Standardisierung, Softwareentwicklung)
- Geschäftsmodelle

Grundlagen der elektrischen Energietechnik

— Introduction to Electrical Power Systems —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M.Sc. André Richter

- Einführung in den Aufbau und die Funktionsweise des elektrischen Energieversorgungssystem
- Eigenschaften und Funktionsweise der Betriebsmittel
- Grundlagen der Kraftwerkstechnik
- Übersicht über Erneuerbare Energien
- Grundlagen des Energiemarktes
- Grundlagen der Netzberechnung

Energiespeichersysteme

— Energy storage systems —

WS V 2 SWS: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer

- Elektrochemische Energiespeicher
- Mechanische Speicher
- Sektorenkopplung
- Anwendungen
 - Dimensionierung, Betrieb und Systemtechnik von Solarspeichersystemen
 - Dimensionierung, Betrieb und Systemtechnik von Energiespeichern in elektrischen Versorgungsnetzen
 - Energiespeicher in der Elektromobilität

Methoden der Optimierung elektrischer Energieversorgungsnetze

— Optimization Methods for Electrical Grids —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Ines Hauer

- Kennenlernen des Programms MATLAB
- Einführung in Optimierungsalgorithmen
- Einführung in genetische Algorithmen, Partikelschwarmoptimierung, Fuzzy Logic
- Einführung in Prognosealgorithmen mit neuronalen Netzen und weiteren Prognosealgorithmen
- Darstellungsmöglichkeiten von Ergebnissen in MATLAB

Netzschutz und Leittechnik

— Power System Protection and Control —

WS 2017/18 Blockseminar 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Rainer Krebs
M. Sc. Eric Glende
M. Sc. Marc Gebhardt

- Grundlagen
- Schutzgenerationen
- Schutzprinzipien
- Analoge und digitale Signalaufbereitung
- Digitale Messalgorithmen
- Entscheidungsmethoden und Logik
- Künstliche Intelligenz für Schutzzwecke
- Beispiele

Operative Systemführung elektrischer Netze

— System Operation of Electric Power Networks —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer

- Regulatorische Rahmenbedingungen
- Operative Aufgaben eines Netzbetreibers
 - Betriebsführung
 - Regelleistung
 - Engpassmanagement
 - Spannungshaltung
 - Netzwiederaufbau
- Leittechnik
- Planungsprozesse
- Kooperationsprozesse
- Praxisberichte
- Exkursion

Photovoltaische Energiesysteme

— Photovoltaic Energy Systems —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer
Ü 1 SWS: M. Sc. André Richter

- Energetisches Potential der Sonne
- Physikalische Grundlagen
- Photoelektrische Effekte in Halbleitern
- Photovoltaische Energiewandlung mit Solarzellen
- Komponenten, Eigenschaften, Aufbau und Betriebsverhalten von Photovoltaikanlagen
- Berechnung und Auslegung von Photovoltaikanlagen
- Solar-Wechselrichter
- Anwendung photovoltaisch erzeugter Elektroenergie
- Trends und Entwicklungsszenarien

Regenerative Elektroenergiequellen - Systembetrachtung

— Renewable Energy Sources —

WS V 2 SWS: Dr.-Ing. André Naumann
Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. André Richter

- Einführung, Energiebegriffe, Elektrische Energiesysteme, Smart Grid
- Grundlagen des regenerativen Energieangebots, Energiebilanz
- Photovoltaische Stromerzeugung
- Stromerzeugung aus Wind
- Stromerzeugung aus Wasserkraft
- Brennstoffzellen
- Elektrische Energiespeicher
- Netzintegration regenerativer Erzeuger
- Netzbetrieb lokaler Energieerzeuger

Windenergie

— Wind Energy —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. André Richter

- Geschichte der Windnutzung
- Potential der Windenergie
- Physikalische Grundlagen
- Aerodynamik
- Komponenten der Windkraftanlage
- Generatoren
- Netzanschluss
- Ökonomische Effizienz
- Windenergie in der öffentlichen Diskussion

Power Network Planning and Operation

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer

- Introduction to the tasks of network planning and system operation
- Equation systems to describe steady-state and quasi-steady-state problems in electric power networks
- Grid modeling using modal component systems
- Basic algorithms of power flow, short-circuit and stability calculations as well as state estimation
- Introduction to power grid modelling with MATLAB

Power System Economics and Special Topics

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Dr.-Ing. Pio Lombardi
Ü 1 SWS: Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer

- Basics of economy and overview of markets
- Electric market architecture
- Economic electric dispatch
- Market for ancillary Services
- Planning of investment in transmission and generation sectors
- Kyoto Protocol and other environmental mechanisms
- Smart Grids and other special topics

Renewable Energy Sources

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M.Sc. André Richter

- Introduction to renewable energy
- Legal framework, priority and subsidies
- Functionality of energy conversion
- Introduction to different technologies:
 - Photovoltaic energy
 - Wind energy
 - Hydroelectric power plants
 - Geothermal energy
 - Biomass
 - Fuel cells
 - Energy storage systems
- Grid connection of renewables

2.2.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Carolin Lenz: Aufbau einer synchronen Messeinrichtung für Gleichstrom-übertragungsstrecken
2. Prakash Joshi: Development of wind forecast combination method in MATLAB
3. Polina Sokolnikova: Development of a tool for the economic planning and operation of distributed power plants
4. Małgorzata Bronowicka: Agent-based power system frequency control
5. Tony Glimm: Analyse der Entso-E-Netzdaten und Recherche zu Last- und Erzeugungsdaten
6. Ankit Singh: Analyzation and definition of technical and economical characteristics for different types of power plants

2 Studium und Lehre

7. Maximilian Oelze: Detaillierte Nachbildung eines HGÜ-Kabel Modells durch konzentrierte Elemente und Besonderheiten bei der Verlegung
8. Rajendran Vignesh: Congestion management strategies based on sensitivity theory
9. Rajendran Vignesh: Multi-agent system ontology – design, structure and implementation
10. Alexander Ziervogel: Erstellung eines Referenznetzes für den Einsatz von Phasenschiebertransformatoren
11. Bala phani Nagavardhanapu: Performance Analysis of Flexibility Options of an Industrial Manufacturing Process
12. Sina Kirchhof: Untersuchung zur Entwicklung der installierten Leistung EEG-geförderter Anlagen in Deutschland
13. Hanna Bienias: Energy efficiency within smart systems

2.2.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Markus Eppler: Potentiale von Solarstromspeichern in elektrischen Netzen
2. Philipp Holzmann: Integration einer mikrocontrollerbasierten Steuerung zur Inbetriebnahme eines Brennstoffzellensystems
3. Alexander Kern: Sektorenkopplung zwischen verschiedenen Verteilnetzen
4. Jean-Baptiste Weh: Modellierung des regionalen 110 kV-Verteilnetzes
5. Yaxin Zhang: Adaptive Protection Settings using Case-Based Expert Systems
6. Jonathan Ulbrich: Potentialanalyse für Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen zur Umsetzung von V2G-Anwendungen

2.2.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Rahul Gadkari: Power system restoration strategy using shortest path approach
2. Muhammad Zahid: Voltage control strategy using Particle Swarm Optimisation in distributed power system
3. Holger Gebhardt: Betriebsführungsmodell für Batteriespeicheranwendungen im Erzeugerverbund
4. Kseniia Ostapenko: Entwicklung eines Verfahrens für einen kosteneffizienten Redispatch mit Hilfe der Ameisenkolonie-Optimierung
5. Revanth Kumar Esaragundi: Development of a Model to analyze the influence of renewables in different voltage levels
6. Jean Bourdin Mbakam Kebankeu: Auslegung eines Hybridspeichersystems aus Lithium-Ionen-Speicher und Pumpspeicherkraftwerk
7. Kranthi Ranadheer Moreddy: Technical and economic performance analysis of demand response program for data center operators

8. Gökay Gönen: Wirtschaftlich optimierte Einsatzplanung von industriellen Energieanlagen zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs
9. Kostiantyn Troitskyi: Potentialanalyse zur Minimierung von Redispatch-Maßnahmen auf Basis leistungsflusssteuernder Netzbetriebsmittel in elektrischen Energieversorgungsnetzen
10. Mohammad Akramul Islam: Optimal Operation Concepts of HVDC Lines
11. Ponnanna Muthanna Kekada: Technical design of a Lithium-battery to optimize self-consumption in wind farms
12. Muhammed Tayyab: Planing of standalone PV under the concept of sector coupling for a residential district. Comparison between single household storage systems and a centralized district quarter storage system
13. Ali Attaullah : Harmonic Resonances in Offshore Wind Power Plants
14. Muhammad Shahjehan Akhter: Ancillary Services with HVDC lines in the German transmission system
15. Wagdy Moussa: Integration eines HIL-Systems zur Nachbildung einer intelligenten Station
16. Markus Fichtner: Optimierte Betriebsführung von Energiespeichern zur Erbringung von Systemdienstleistungen
17. Yujia Zhai: Analyzes on the development of the European Electricity Market
18. Bingqian Wang: Development of the German Transmission Grid Model
19. Taimoor Tahir: Characterization of a single Unitized Regenerative Fuel Cell based on a PEM-Membrane
20. Arifur Rahman: Operational management methods of HVDC lines in the german transmission system
21. Volodymyr Pylypenko: Entwicklung eines Tools für die Investitionsentscheidung bei der Errichtung von (Virtuellen) Kraftwerken
22. Manasa Sanjeev Joshi: Analysis of placement algorithms for the economic use of fuel cell power plants in residential areas
23. Soham Choudhury: Maximization of the renewable energy exploitation: An approach with the evaluation of flexibility options
24. Carolin Lenz: Algorithmen zur Aufrechterhaltung der Generatorwinkel- und Spannungsstabilität
25. Sindy Wachter: Modellierung des Skandinavischen Übertragungsnetzes inklusive der HGÜ-Verbindungen zu den Nachbarstaaten und Untersuchung der Transite zur Ermittlung des Speicherpotentials Skandinaviens
26. Polina Sokolnikova: Multikriterielle Planung ländlicher Net-Zero Energy Systems
27. Małgorzata Bronowicka: Decentralized Voltage Control with VSC Converters

28. Celia Dohle: Wirtschaftlichkeitsanalyse der Umwandlungsmethode „Power-to-Gas“
29. Shalini Araveeti: Implementation of market coupling in MATLAB

2.2.5 Praktikantenbetreuung

Der Lehrstuhl bietet bereits seit vielen Jahren interessierten Schülern und Schülerinnen umfassende Einblicke in die Forschungsarbeiten und Studienmöglichkeiten am LENA und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Wie können die verstärkt eingesetzten erneuerbaren Energien in das elektrische Netz integriert werden; welche Rolle spielen dabei Energiespeicher und wann werden Wasserstoffwirtschaft und Brennstoffzellen zum Einsatz kommen? Nur einige Fragen die im Rahmen der zumeist zweiwöchigen Praktika theoretisch und durch praktische Laborversuche den Schülern und Schülerinnen näher gebracht werden.

Im Rahmen des Praktikums werden jedoch nicht nur die Themen des LENA behandelt, sondern auch andere Forschungsbereiche der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik. Interessante Einblicke bieten die Absorberhalle des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit und die Aktivitäten zur Elektromobilität des angrenzenden Fraunhofer IFF Magdeburg.

Weiterhin besteht die Möglichkeit in der Praktikumszeit Vorlesungen zu besuchen, interessante Standorte der Universität, wie die imposante Architektur der Bibliothek kennenzulernen und wichtiges Hintergrundwissen zum Studium zu erlangen.

Im aktuellen Jahr fanden drei zweiwöchige Schülerpraktika durch Schüler des Werner-von-Siemens-Gymnasium, Hegel-Gymnasiums und Börde-Gymnasiums Wanzleben statt. Außerdem hat ein Schüler des Hegel-Gymnasiums Magdeburg ein sechswöchiges Praktikum über das MINT-Praktikum für Abiturienten absolviert. Die Schüler wurden durch die Praktikumsangebote der Fakultät auf das LENA aufmerksam und lernten die Bereiche Elektrische Energienetze, Elektromobilität und Brennstoffzelle kennen.

- Normen Bastek (22.01.–02.02.; Börde-Gymnasium Wanzleben)
- Till Duchaczek (05.03.–16.03.; Werner-von-Siemens-Gymnasium Magdeburg)
- Karl Kreutzmann (17.09.–28.09.; Hegel-Gymnasium Magdeburg)
- Tim Holzki (15.08.–30.09.; Hegel-Gymnasium Magdeburg)

2.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

2.3.1 Vorlesungen, Übungen und Praktika

Elektromagnetische Verträglichkeit regenerativer elektrischer Systeme

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
M. Sc. Anke Fröbel
Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Ü 1 SWS: M. Sc. Enrico Pannicke

- Einführung in die EMV regenerativer elektrischer Systeme
- Gesetzliche Anforderungen und Standardisierung
- Elektromagnetische Kopplung und Schirmung
- Einkopplung in Leitungen
- Power Quality

Anwendung stochastischer Modelle in der EMV

WS V/Ü 2 SWS: Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko

Die Studierenden kennen bereits die grundlegenden Prinzipien der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Sie werden weiterhin befähigt, elektromagnetische Kopplungen durch Nutzung von analytischen und numerischen Methoden zu beschreiben. Sie können stochastische Modelle zur Beschreibung von EMV-Testumgebungen anwenden.

Inhalte:

- Problemspezifische Einführung in die EMV, Begriffe, Störemission, Störfestigkeit, Störpegel, Störabstand, Zeit- und Frequenzbereich
- EMV-Mess- und Prüftechnik (Überblick)
- Methoden zur Analyse der Kabelkopplung
- Modellierung der Kabelkopplung in zufällige Kabelstrukturen
- Modenverwirbelungskammer (MVK) als stochastische EMV-Messumgebung
- Beschreibung des elektromagnetischen Feldes durch den Ansatz ebener Wellen
- Feldverteilung und Korrelationsfunktionen
- Messwertinterpretation

Grundlagen der Elektrotechnik I

WS V 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Johanna Kasper
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
M. Sc. Enrico Pannicke
Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Johanna Kasper
M. Sc. Benjamin Hoepfner
M. Sc. Moustafa Raya
M. Sc. Felix Middelstädt

Die Vorlesung behandelt Grundbegriffe und Elemente elektrischer Stromkreise und gibt einen Überblick über die Berechnung resistiver elektrischer Netzwerke (linear und nichtlinear). Weiterhin werden die Grundlagen der Vierpoltheorie eingeführt.

Grundlagen der Elektrotechnik (Praktikum I)

WS P 3 SWS: M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Matthias Hirte
Dipl.-Phys. Jörg Petzold

Das Praktikum dient der Vermittlung grundlegender praktischer Erkenntnisse und Erfahrungen beim Einsatz moderner Mess-, Simulations- und Auswertetechnik, wobei dem Messen mit dem digitalen Speicheroszilloskop große Bedeutung zukommt. Im Detail gehören dazu laborpraktische Untersuchungen von Gleich- und Wechselstromkreisen, von Zweipolen mit linearem und nichtlinearem Strom-Spannungs-Verhalten sowie Auseinandersetzung u. a. mit der Problematik von Ortskurven, nichtharmonischen periodischen Vorgängen, Resonanzkreisen und Ausgleichsvorgängen in Gleich- und Wechselstromnetzwerken.

Modern Concepts of EMC and EMC Measurements (Laboratory Experiments)

WS P 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Dr.-Ing. Al-Hamid
M. Sc. Matthias Hirte
M. Sc. Enrico Pannicke

The students gain hands-on experience in EMC measurement techniques during the following experiments:

- measurements in the semi-anechoic chamber
- measurements in the reverberation chamber
- characterization of filters
- numerical calculation of electromagnetic fields and couplings
- transmission line perturbations
- shielding efficiency

Vorkurs Mathematische Grundlagen der Elektrotechnik und Medizintechnik

WS Blockveranstaltung Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Der Vorkurs dient der Wiederholung wichtiger mathematischer Grundlagen speziell für Studierende der Elektrotechnik und Medizintechnik. Der Vorkurs findet als Blockveranstaltung über fünf Tage statt.

1. Vorlesung Zahlen und Einheiten, Funktionen, Winkelfunktionen, Exponentialfunktion
2. Vorlesung Differentialrechnung, Differentialquotient, Differentiationsregeln, Differentialgleichungen
3. Vorlesung Integralrechnung, unbestimmtes und bestimmtes Integral, Integrationsregeln, Mittelwert und Effektivwert
4. Vorlesung Lineare Algebra, Vektoren, Skalarprodukt, Vektorprodukt
5. Vorlesung Matrizen, Matrixmultiplikation, inverse Matrix, lineare Gleichungssysteme

Die Vorlesung wird durch eine herkömmliche handschriftliche Übung und durch eine Computerübung ergänzt. In der handschriftlichen Übung werden die Vorlesungsthemen durch einfache und anwendungsnahe Aufgaben wiederholt und gefestigt. In der anschließenden Computerübung werden die gleichen Übungsaufgaben unter Zuhilfenahme von Mathematiksoftware bearbeitet. Dabei wird der grundlegende Umgang mit den Programmen

- GNUplot (Funktionenplotter)
- Maxima (Computeralgebrasystem)
- GNU Octave (Numerikprogramm)

besprochen. Diese Programme sind alle quelloffen und frei verfügbar. Sie werden per USB-Stick an die Studierenden verteilt. Diese können die Software auf ihren eigenen Notebooks (sowie Smartphones und Tablet-PCs) installieren und zur Bearbeitung der Aufgaben im Rahmen des Vorkurses sowie im weiteren Studium benutzen.

In diesem Jahr wurde die Vorlesung erneut durch ein Live-Quiz ergänzt. Zur besseren Aktivierung der Studierenden wurden während der Vorlesung mehrere Verständnisfragen zum gerade behandelten Stoff gestellt. Von den drei, vier oder fünf vorgegebenen Antwortmöglichkeiten sollten die Studierenden dann mit Hilfe Ihres Smartphones über die universitätseigene Plattform Eval.uni die richtige Antwort auswählen. Das gemeinschaftliche Ergebnis, die Hintergründe der Frage und natürlich auch die richtige Antwort wurden dann direkt im Anschluss diskutiert.

Non-technical Project Seminar

SS Seminar Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Anke Fröbel
M. Sc. Enrico Pannicke
M. Sc. Moustafa Raya

After successful completion of the seminar, students have an overview of the methods of scientific writing and presentation. The students are able to perform all the necessary steps to create and defend a final paper/thesis. Basic knowledge of research, scientific writing, visualization and presentation is imparted.

Analyse und Berechnung elektromechanischer Strukturen

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung in die Beschreibung von Signalen im Zeit- und Frequenzbereich, lineare und nichtlineare Systeme, Beschreibung von Netzwerkstrukturen
- Simulation elektrischer Netzwerke
- Berechnung magnetischer Kreise
- Modellierung mechanischer Systeme als äquivalente elektrische Netzwerke
- Kombination von Netzwerk- und Feldberechnungsverfahren
- Zusammenwirken von Leistungselektronik und elektrischen Maschinen

Die Lehrveranstaltung findet als Inverted-Classroom-Variante statt, d. h. die Vorlesungen sind größtenteils auf Video aufgezeichnet und können eigenständig von den Studierenden vorbereitet, angeschaut und nachbereitet werden. In der Präsenzzeit an der Universität werden dann hauptsächlich komplexe Übungsaufgaben bearbeitet sowie weiterführenden Probleme besprochen und diskutiert.

Elektromagnetische Verträglichkeit

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dipl.-Phys. Jörg Petzold

- Einführung in die EMV
- Klassifizierung und Charakterisierung von Störquellen
- Koppelmechanismen und Gegenmaßnahmen
- EMV-Analysemethoden zur Behandlung elektromagnetischer Kopplung basierend auf dem $\lambda/2$ -Dipolmodell
- Schirmung nach Schelkunoff, Einkopplung durch Aperturen, Messung der Schirmdämpfung
- Verkabelung, Massung, Filterung, Schutzschaltungen
- EMV-Mess- und Prüftechnik (Überblick)

EMV-Messtechnik

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Matthias Hirte
Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Einführung, Begriffe, Definitionen (Messgrößen, Einheiten, dB-Skala, Rauschen, Signale, Messunsicherheit)
- Spektrum- und Netzwerkanalyse, Zeitbereichsmessverfahren
- Antennen, Messschaltungen und Komponenten
- Messung der Streu- und Transferimpedanzmatrizen
- EMV-Messplätze und -Umgebungen
- Feld- und leitungsgebundene Emissionsmessungen
- Störfestigkeitsuntersuchungen
- Standardisierte Messverfahren

Grundlagen der Elektrotechnik II

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick M. Sc. Anke Fröbel M. Sc. Johanna Kasper
	Ü 2 SWS:	Dr.-Ing. Mathias Magdowski M. Sc. Anke Fröbel M. Sc. Matthias Hirte M. Sc. Enrico Pannicke Dipl.-Phys. Jörg Petzold M. Sc. Johanna Kasper M. Sc. Benjamin Hoepfner M. Sc. Moustafa Raya M. Sc. Felix Middelstädt

Die Vorlesung behandelt elektrische Netzwerke und ihre Berechnung, resistive Netzwerke (linear, nichtlinear), Netzwerke bei harmonischer Erregung (komplexe Wechselstromrechnung, Ortskurven, duale und äquivalente Schaltungen, 2-Tor-Schaltungen bei Wechselstrom, Wechselstromschaltungen mit technischer Bedeutung, Mehrphasensysteme), Leitungen als Vierpole, Netzwerke mit nichtsinusförmiger periodischer Erregung und Ausgleichsvorgänge in Netzwerken.

Grundlagen der Elektrotechnik (Praktikum II)

SS	P 3 SWS:	M. Sc. Anke Fröbel M. Sc. Matthias Hirte Dipl.-Phys. Jörg Petzold Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko
----	----------	---

Das Praktikum dient der Vermittlung grundlegender praktischer Erkenntnisse und Erfahrungen beim Einsatz moderner Mess-, Simulations- und Auswertetechnik, wobei dem Messen mit dem digitalen Speicheroszilloskop große Bedeutung zukommt. Im Detail gehören dazu laborpraktische Untersuchungen von Gleich- und Wechselstromkreisen, magnetischen Kreisen und Übertragern, ebenen Feldern, Energiewandlungsprozessen und von Zweipolen mit nichtlinearem Strom-Spannungs-Verhaltens sowie Auseinandersetzung u. a. mit der Problematik von Kompensations- und Brückenschaltungen und der Simulation von Ausgleichsvorgängen in Gleich- und Wechselstromnetzwerken.

Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik

WS	Blockveranstaltung 4 SWS:	M. Sc. Enrico Pannicke Dr.-Ing. Mathias Magdowski M. Sc. Thomas Gerlach
----	---------------------------	---

Im diesjährigen Projektseminar „Elektro- und Informationstechnik“, das als Kurztitel meist nur „LEGO-Praktikum“ genannt wird, entwickelten die Bachelorstudierenden des Elektrotechnikstudiengangs in kleinen Gruppen wieder zahlreiche interessante Maschinen, Roboter und Automaten. Die Basis bilden dafür LEGO-Technik-Baukästen mit programmierbaren NXT-Bausteinen, an die bis zu vier Sensoren für Druck, Licht, Farbe, Orientierung etc. und bis zu drei Servomotoren angeschlossen werden können. Die Programmierung erfolgt dann über MATLAB mittels einer Toolbox der RWTH Aachen.



Abbildung 2.1: Lego-Praktikum Juni 2018 – Seminargruppenteilnehmer des Labyrinth-Roboters (Fotograf: Harald Krieg)

Aufgrund der umfassenden Möglichkeiten von MATLAB lassen sich auch komplexere Algorithmen umsetzen, die allein mit der Software von LEGO nicht möglich wären. So ist z. B. auch die Auswertung und Verarbeitung von Bildern aus einer Webcam möglich, die von mehreren Gruppen genutzt wurde.

In diesem Jahr fand das Seminar vom 12. bis 23. Februar 2018 statt. Dabei entwickelten die Studierenden unter anderen:

- einen Labyrinth-Roboter, der selbstständig einen Weg durch ein Labyrinth findet (siehe Abbildung 2.1)
- einen optischen Kassettenrekorder mit Farbcodes
- einen Kartografierungsroboter
- einen Reinigungsroboter
- einen Scanner zur Formerkennung, der Dreiecke, Quadrate und Kreise unterscheiden kann
- eine mechanische Spinne
- einen Verfolgungsroboter, der immer der Person hinterher fährt, die ein rotes T-Shirt trägt
- einen Spielfeldzeichner (für die Fußball-WM)
- einen Vier-Gewinnt-Roboter, gegen den man als Mensch antreten kann

Am Ende des zweiwöchigen Seminars stellten die Gruppen ihre Projekte in kurzen Vorträgen vor. Während dieser Vorträge wurde auch kurz die jeweilige Funktionsweise demonstriert. Kurze Videos davon sind in einer YouTube-Playlist zu finden.

Modern Concepts of EMC und EMC Measurements

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Moustafa Raya

- basic principles of electromagnetic compatibility
- regulatory requirement of EMC compliant products

- overview of international EMC standards and measurement procedures
- analytical and numerical method for the analysis of EMC problems
- electromagnetic coupling, shielding and filtering
- countermeasures against electromagnetic interference

Vierte Gastvorlesung am German-Russian Institute of Advanced Technologies in Kasan, Russland

Im Rahmen des Masterstudiengangs „Electrical Engineering and Information Technology“ hielt Dr.-Ing. Mathias Magdowski die Vorlesung „Modern Concepts of Electromagnetic Compatibility and EMC Measurements“ als Blockveranstaltung vom 12. bis 23. März zum vierten Mal an der Staatlichen Technischen Andrej-Nikolajewitsch-Tupolew-Universität Kasan. Diese Kooperation in der Lehre ist Teil des German-Russian Institute of Advanced Technologies (GRIAT). Der Kurs bestand aus einer täglichen Vorlesung und Rechenübung sowie mehreren Computerübungen.

Behandelt wurden die Themen:

- Störsignale,
- Rechnen in Dezibel,
- Gleichtakt- und Gegentaktsignale,
- Zeit- und Frequenzbereich,
- Kopplungsmechanismen und Elementarstrahler,
- Schirmungstheorie nach Schelkunoff, sowie
- Grundlagen der EMV-Messtechnik.

In der Computerübung wurden praxisnahe Probleme zur galvanischen und kapazitiven Kopplung mit Hilfe der Numeriksoftware MATLAB bzw. dem Netzwerksimulator LTSpice berechnet und simuliert wurden. Außerdem wurden Feldsimulationen mit dem Numerical Electromagnetic Code (NEC) und dem Momentenmethoden-Löser CONCEPT-II durchgeführt.

Dieser Kurs wurde, wie auch alle anderen Lehrveranstaltungen am GRIAT, auf Englisch durchgeführt. Die elf russischen Studierenden des vierten Masterkurses (siehe Abbildung 2.2) waren mit großem Interesse dabei und bekamen so einen ersten Einblick in das Studium an einer deutschen Universität. Sie studieren dann ab Oktober 2018 für ein Semester in Magdeburg und absolvieren dabei die zur Vorlesung zugehörige praktische Übung und das entsprechende Laborpraktikum.

Die Kooperation zwischen der Otto-von-Guericke-Universität (OvGU) in Magdeburg und der Technischen Andrej-Nikolajewitsch-Tupolew-Universität (KNRTU-KAI) in Kasan, Russland im Rahmen des GRIAT besteht seit 2014. Ziel des GRIAT ist die Ausbildung von hochqualifizierten Ingenieuren in der KNRTU-KAI und in den deutschen Partneruniversitäten, zu denen neben der OvGU auch noch die Technische Universität Ilmenau sowie die TU Kaiserslautern gehört. Die erfolgreichen Studierenden erhalten zwei Abschlüsse, einen der KNRTU-KAI und einen der deutschen Partneruniversität. Zukünftig sind auch Studiengänge an der TU Braunschweig geplant.

Im Rahmen der feierlichen Graduation Ceremony am 13.09. erhielt Dr.-Ing. Mathias Magdowski den Lehrpreis „The best GRIAT faculty 2018 from OVGU Magdeburg“ (siehe Abbildung 2.3) und wurde damit nach 2017 bereits zum zweiten Mal vom GRIAT für sein Engagement im Bereich der Lehre in Kasan und bei der Betreuung der Abschlussarbeiten der Studierenden in Magdeburg ausgezeichnet.



Abbildung 2.2: Seminargruppe der vierten Gastvorlesung am German-Russian Institute of Advanced Technology in Kasan, Russland mit dem Dozenten Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.3: Auszeichnung von Dr.-Ing. Mathias Magdowski (2. von rechts) mit dem Lehrpreis „The best GRIAT faculty 2018 from OVGU Magdeburg“ im Rahmen der feierlichen Graduation Ceremony am 13.09. an der Technischen Andrej-Nikolajewitsch-Tupolev-Universität (KNRTU-KAI) in Kasan, Russland

2.3.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Sebastian Schwarz: Optimierung der Leserate eines RFID-Tunnels durch Variation der Güte
2. Kevin Ladentin: Entwurf und Befilterung eines DC-DC-Wandlers für den Automobilbereich
3. Steven Bernick: Analyse des Oberschwingungsverhaltens nichtlinearer Lasten mittels automatisierter Messung
4. Mohamed Kher Khshainy: Simulativer Aufbau eines Shunt Active Filters und Parametrisierung von Reglergrößen in Abhängigkeit der Netzsituation

2.3.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Sebastian Schwarz: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der erreichbaren Leserate und dem Gütefaktor eines RFID-Tunnels
2. Mohamed Kher Khshainy: Verfahren zur Störungskompensation bei der Strommessung in Elektromobilitätsanwendungen

2.3.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Jaysheel Dave: Development of Distributed Active Filter System for Power Quality Improvement
2. Tayyab Zaman: Measurement of the Statistic Electromagnetic Field Coupling to Unshielded Twisted-Pair Ethernet Cables
3. Philipp Wollmann: Funktionalität von Smart Metern unter dem Einfluss von Oberschwingungen
4. Naga Manogna Malladi: Analysis of Accuracy of Smart Meters under the Influence of Supraharmonics
5. Alaba Stephen Ojo: Development of Equivalent Circuit Models for HV Components of an Electric Vehicle
6. Supriya Mandha: Harmonic Power Flow Analysis in Distribution Networks
7. Venkata Krishna Gonuguntala: Performance Analysis of Finite Control Set Model Predictive Controlled Active Harmonic Filter
8. Gennady Yukhtanov: Simulation of the Plane Wave Coupling to Non-Linearly Loaded Transmission Networks in Time Domain
9. Linar Galeev: Measurement of the Plane Wave Coupling to a Non-Linearly Loaded Transmission Network in a GTEM Cell
10. Guannan Liu: Development, Implementation and Testing of a Circuit Schematic Converter from Pspice to CircuiTikZ

2.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

2.4.1 Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge

Grundlagen der Leistungselektronik

— Introduction to power electronics —

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin M. Sc. Lars Middelstädt
WS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin Dr.-Ing. Wolfgang Fischer M. Sc. Lars Middelstädt Dipl.-Ing. Bastian Strauß M. Sc. Carsten Kempik

- Einführung
- Gleichstromsteller
 - Tiefsetzsteller
 - Hochsetzsteller
 - Zwei-Quadranten-Steller — Brückenweig
- H-Brücke (selbstgeführt mit Spannungszwischenkreis)
- dreiphasige Brückenschaltung (selbstgeführt mit Spannungszwischenkreis)
- netzgeführte Brückenschaltungen
 - ungesteuerter Gleichrichter
 - vollgesteuerte Brückenschaltung

unter besonderer Berücksichtigung von

- Schaltungen
- Strom- und Spannungsverläufen
- Steuerverfahren
- Anwendungsbeispielen

Bauelemente der Leistungselektronik

— Power semiconductor devices —

SS	V 2 SWS:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
	Ü 1 SWS:	M. Sc. Lars Middelstädt
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Wolfgang Fischer M. Sc. Lars Middelstädt M. Sc. Carsten Kempik

- Leistungshalbleiter-Bauelemente:
 - MOSFET
 - IGBT

- Diode
- Thyristor

unter besonderer Berücksichtigung von

- Funktionsweise
- statischem und dynamischen Verhalten
- Aufbautechnik
- schaltungsgerechter Auslegung
- Ansteuerung, Systemarchitektur

Bauelemente der Elektronik

— Electronic devices —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
und Kollegen

- Halbleiter
- Diode
- Bipolar-Transistor
- Feldeffekt-Transistor
- weitere Bauelemente

Allgemeine Elektrotechnik 1

— Electrical engineering and electronics 1 —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Lars Middelstädt
Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
P 2 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
und Kollegen

- Grundbegriffe
- Stromkreise
- Wechselgrößen
- elektrische und magnetische Felder

Veranstaltung für Nicht-Elektrotechniker; Allgemeine Elektrotechnik 2 vgl. auch Abschnitt 2.1.1

2.4.2 Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Schaltungen der Leistungselektronik

— Power electronic circuits —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- resonante Schaltungen
 - lastgeführte Stromrichter, z. B. Schwingkreis-Wechselrichter
 - Entlastungsnetzwerke, z. B. ARCP-Umrichter
- selbstgeführte Schaltungen
 - Varianten
 - * Mehrpunkt-Umrichter
 - * Stromzwischenkreis-Umrichter
 - * Matrix-Umrichter
 - Steuer- und Regelverfahren
 - * Raumzeiger
 - * Modellbildung und Stromregelung beim Gleichstromsteller
- netzgeführte Stromrichter — Varianten
 - Umkehrstromrichter
 - höherpulsige Brückenschaltungen
 - Wechselstromsteller, Drehstromsteller
- Kombination von Grundsaltungen
 - netzfreundliche Gleichrichter mit Korrektur des Leistungsfaktors — z. B. einphasig mit geregelter Hochsetzsteller

mit Anwendungsbeispielen u. a. aus dem Bereich der erneuerbaren Energie

Systeme der Leistungselektronik

— Power electronic systems —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

- Stromversorgungen — Schaltnetzteile
 - Sperrwandler
 - Durchflusswandler
- Leistungselektronik zur Nutzung von aus erneuerbaren Quellen erzeugter elektrischer Energie

- Photovoltaik
- Windenergie
- drehzahlvariable Pumpspeicherkraftwerke
- Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)
- Leistungselektronik im Automobil
 - Übersicht
 - Zuverlässigkeit
 - Ladetechnik: kontaktlose Energieübertragung

Steuerung von Leistungselektronik

— Control in power electronics —

SS S 3 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
M. Sc. Carsten Kempia

- Komponenten der Informationsverarbeitung, Steuerung, Regelung, Anpassung sowie des Schutzes in leistungselektronischen Schaltungen
- Integration von Steuerungskomponenten und Leistungshalbleitern
- Simulation ausgewählter Beispiele

Systemintegration von Leistungselektronik

— System integration of power electronics —

WS V 2 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Carsten Kempia
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- Systemintegration am Beispiel einer Schweißstromquelle
 - Einführung in das Simulationsprogramm SABER, Programmteile und Bibliotheken
 - Ablauf einer Schaltungssimulation
 - Dynamische Modelle von Leistungshalbleitern und deren Parametrierung
 - Analyse von Betriebsverhalten, Verlustleistung, Leistungsfaktor, dynamischem Verhalten
- Aspekte elektromagnetischer Verträglichkeit leistungselektronischer Systeme
 - Netzurückwirkungen
 - höherfrequente geleitete Störemission
- Zuverlässigkeit von Leistungshalbleiter-Bauelementen unter Berücksichtigung von Systemaspekten

Power Electronics

WS V 2 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

- introduction
- buck-/boost chopper, phase leg
 - function
 - applications
- functional principle plus ratings and characteristics of main power electronic components
 - MOSFET
 - IGBT
 - diode
 - aspects of packaging
- circuit theory, behaviour and dimensioning of components in converters
 - static
 - dynamic
- H-bridge
 - control method: pulse width modulation (PWM)
 - application: inverter, rectifier
- three-phase bridge
 - control method: pulse width modulation (PWM)

Advanced Power Electronics

SS V 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
P 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Lars Middelstädt

- system design by combinations of basic circuits
- selected advanced circuits, e. g.
 - power factor correction
 - switched mode power supplies
 - bidirectional operation of DC/DC converters
- selected systems with advanced circuits, e. g.
 - grid-connected multi-stage converters

Power Electronic Components and Systems

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Wolfgang Fischer

- power electronic components
 - active devices
 - * derivation of device base equations
 - * functionality, ratings and characteristics of IGBT, MOSFET and diode
 - * packaging and assembly
 - * introduction to dynamic device modeling with SABER
 - passives
 - * inductive components — inductors, transformers
 - * capacitive components — capacitors
- power electronic systems
 - component stress in selected systems
 - dimensioning
 - reliability

2.4.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Fabian Schimke: Validierung eines Messverfahrens zur Bestimmung von IGBT-Sperrschichttemperaturen im Wechselrichterbetrieb
2. Andrii Anufriiev: Inbetriebnahme und Test von elektronischen AC/DC-Lasten
3. Anton Chupryn: Inbetriebnahme und Testen einer Signal- und Spannungsversorgungsplatine
4. Sebastian Schweigel: PIL-Simulation eines mehrphasigen bidirektionalen DC/DC-Wandlers
5. Sebastian Pfützner: PIL-Simulation eines induktiven Übertragungssystems mit variabler Kompensation

2.4.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Ansgar Reuning: Selektives Überbrücken von Zellen in Reihenschaltung als potenzielle Anwendung in der Hochvolt-E-Traktion
2. Anton Churpyn: Entwickeln und Vermessen der Regelung eines modularen Gleichspannungswandlers mit GaN-Transistoren
3. Sebastian Schweigel: Digitale Strom- und Spannungserfassung eines geregelten Traktionsantriebes

2.5 Institutsebene

2.5.1 IEEE Student Branch Magdeburg

Teilnahme an Sportlichen Events¹

Auch in diesem Jahr war die IEEE Student Branch Magdeburg wieder bei zahlreichen Sportevents der Uni vertreten.

Beim **Hochhauslauf** nahmen dieses Mal drei Mitglieder der IEEE Student Branch teil. Julia Bauch, Benjamin Hoepfner und Mathias Magdowski bereiteten sich seit Anfang Januar akribisch auf den Wettkampf vor und trainierten mehrfach den Lauf über die 332 Stufen bis in die 14. Etage. Zum Wettkampftag kam dann noch der „Anlauf“ über 60 Meter in der Ebene hinzu.

Die Mühe wurde belohnt, denn am Ende reichte es für Platz 3 in der Teamwertung. Julia Bauch konnte sich mit ihrer Zeit von 92,4s sogar den 1. Platz in ihrer Altersklasse sichern. Benjamin Hoepfner erreichte nach langer Laufpause eine solide Zeit von 76,3s und Mathias Magdowski kam mit einer Zeit von 70,4s knapp an seine persönliche Bestzeit von 2012 heran. Mit seinen insgesamt neun Teilnahmen liegt er jetzt auf Platz 33 der ewigen Bestenliste.

Das **Drachenbootrennen** zählt mittlerweile ebenfalls zu den regelmäßigen Wettkämpfen der Student Branch. Mit einer Zeit von 57,394s über eine Distanz von 200m fuhr das IEEE-Team leider nur auf den 13. Platz, obwohl es sich mit dieser Zeit um etwa eine halbe Sekunde im Vergleich zum Vorjahr (8. Platz) verbessert hat. Dennoch waren alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer hochmotiviert und hatte - und das ist das wichtigste - reichlich Spaß. Einige haben sich schon für das Team im nächsten Jahr gemeldet und sich für eine dritte Trainingseinheit im Vorfeld ausgesprochen.

Für die IEEE Student Branch war es nach 2011, 2012, 2015, 2016 und 2017 bereits die sechste Teilnahme beim **Magdeburger Firmenstaffellauf**. In diesem Jahr gingen Benjamin Hoepfner (12:31 min), Mathias Magdowski (12:21 min), Maximilian Oelze (12:55min), Hannes Schreiber (12:37 min) und als Schlussläufer Frank Wilhelms (12:02 min) auf die Strecke und erreichten mit einer Gesamtzeit von 1:02:24 h einen sehr respektablen 21. Platz aller 363 Herrenteams bzw. den dritten Platz aller 39 Laufteams der Otto-von-Guericke-Universität.

Im nächsten Jahr gilt es dann mit nochmals verstärktem Training und einer intensiveren Wettkampfvorbereitung die magische Marke von einer Stunde Gesamtlauzeit zu knacken.



Abbildung 2.4: Gruppenbilder der Teams vom Drachenbootrennen (links) und Firmenstaffellauf (rechts)

¹von M. Sc. Felix Middelstädt

Teilnahme an der IEEEExtreme Programming Competition²



Zum bereits zwölften mal fand am 20. Oktober der Programmierwettbewerb des IEEE, die „IEEEExtreme Programming Competition“, statt. Auch dieses Jahr hat die IEEE Student Branch der OvGU mit den beiden Teams „Hackerfall“ und „KlapsAufDenCode“ teilgenommen. Dazu trafen sich Christian Bednarz, Daniel Punzet, Christoph Lange, und Felix Middelstädt in G09, um ab 2 Uhr morgens die 30 vom IEEE gestellten Programmieraufgaben innerhalb von 24 h zu lösen.

Die beiden Teams erreichten dabei die Platzierungen 399 und 779. Insgesamt haben 2680 Teams aus allen Regionen der Welt aktiv am Wettbewerb teilgenommen.

Damit sich die Programmierer voll auf die praxisorientierten Programmierprobleme konzentrieren konnten, haben sich Anton Chupryn und Mathias Magdowski hervorragend um das ausgiebige Mettfrühstück und einen Topf Chili con Carne gekümmert. Wie auch in den Jahren zuvor wurde die üppige Verpflegung von der Student Branch gesponsert.

Im Großen und Ganzen hatten alle Teilnehmer in Magdeburg viel Spaß beim Lösen der Aufgaben und freuen sich schon auf das nächste Mal.

Workshops³

Wie auch schon in den Jahren zuvor hat die Student Branch Magdeburg wieder Workshops, welche interessierten Studierenden nützliches Wissen zum wissenschaftlichen Arbeiten vermitteln, angeboten. Um allen Studierenden die Möglichkeit zu bieten an den Workshops teilzunehmen, gab es eine deutsch- und englischsprachige Workshopreihe mit folgenden Themen:

- LaTeX für Einsteiger
- Wie man ein gutes Protokoll schreibt
- Python als praktischer Helfer
- MATLAB-Crashkurs
- Effizientes Erstellen schöner Plots - keine Hexerei
- Schaltungssimulation mit LTspice

Wie jedes Jahr war die Beteiligung der Studierenden sehr groß.

²von M. Sc. Felix Middelstädt

³von M. Sc. Felix Middelstädt

Technical Talks⁴

In diesem Jahr fand die Neuauflage der erfolgreichen IEEE-Veranstaltung „Technical Talks“ statt. Die Vortragenden aus Industrie und Politik gaben einen Einblick in die vielfältigen Aufgabemöglichkeiten eines Elektrotechnikingenieurs. Während Dr. Folkhart Griger den hardwarenahen Arbeitsalltag eines Entwicklungsingenieurs bei der IAV präsentierte, lieferte Dr. Marcel Benecke von der Firma BeXema eine Sicht auf das größere Ganze eines Produktmanagers. Dass ein Elektrotechnikstudent nach dem Studium jedoch auch eine ganz andere Richtung einschlagen kann, zeigte Dr. Martin Stötzer, welcher aktuell als Referent im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalts an der politischen Mitgestaltung der Energiewende arbeitet. Gleichzeitig stellte Dr. Stötzer seinen aktiven Weg beim IEEE während deiner Studien- und Promotionszeit vor und betonte, wie vorteilhaft diese Tätigkeiten für den späteren Berufsweg sein können.

Die angeregten Gespräche im Anschluss mit Bier und Gegrilltem zeigten, wie positiv die „Technical Talks“ bei allen TeilnehmerInnen aufgenommen wurden. Am Ende sind sich alle einig, dass es auch im nächsten Jahr zu einer Neuauflage kommen soll. In Abbildung 2.5 sind ein paar Eindrücke festgehalten.

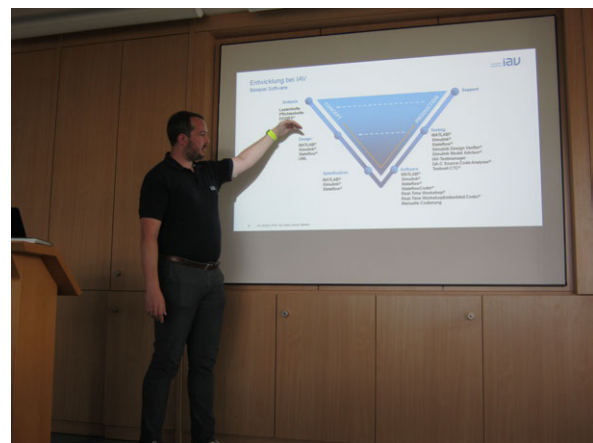


Abbildung 2.5: Impressionen von den IEEE Technical Talks

Achte IEEE Germany Student Conference 2018⁵

Die 8. IEEE Germany Student Conference 2018 ist erneut in Magdeburg erfolgreich zu Ende gegangen. Am 25. und 26. Oktober hatten 16 Studierende im Rahmen eines 15-minütigen Vortrages die Möglichkeit, ihre eingereichten Paper einem breit aufgestellten studentischen- wie Fachpublikum vorzustellen und dabei Erfahrungen hinsichtlich des Vortragens einer wissenschaftlichen Arbeit zu sammeln. Von den zuvor 20 Einreichungen konnten drei Beiträge ermittelt werden, die eine besondere Würdigung durch den von Würth Elektronik zur Verfügung gestellten Best Paper Award erfahren durften:

1. Xinya Song – Realization and Simulation of a Hybrid Model by Different Inverter Models Based on an Inverter-Dominated Power Distribution Grid
2. Matthias Will – SSVEP Controlled Brain Control Interface (BCI) Inferring Complex Tasks From Low-Level Commands

⁴von M. Sc. Felix Middelstädt

⁵von M. Sc. Felix Middelstädt

3. Anna Steenmann – On Chip Creation of Intermetallic Phase Precursors Enables a Rapid Soldering Process

Zur Konferenz waren außerdem Vertreter aus verschiedenen Industriezweigen eingeladen, die ihrerseits interessante Einblicke in die Arbeit ihrer Firmen lieferten. Die Firma Plexim zeigte Möglichkeiten der Echtzeitsimulation von Hardwarecontrollern, IBM die Vorteile einer Mikroservice Architektur, IAV klassische EMV-Probleme und Lösungen auf Leiterplatten-Ebenen und Würth Elektronik die Möglichkeit der Rauschunterdrückung an Wechselrichtern.

Neben einer tollen Tagungsräumlichkeit direkt an der Elbe, im Virtual Development and Training Centre des Fraunhofer Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung, konnte das tägliche Catering und das Konferenzdinner für das Allgemeinwohl sorgen. Laborführungen in der Experimentellen Fabrik rundeten die IEEE German Student Conference letztlich ab.

Die Verantwortlichen der IEEE Student Branch Magdeburg sprechen aus diesen Gründen allen Sponsoren, Förderern und Helfern sowie allen TeilnehmerInnen dieser Konferenz ein herzliches Dankeschön aus und hoffen, dass allen diese Veranstaltung positiv in Erinnerung bleibt.



(a) Gruppenfoto mit allen aktiven TeilnehmerInnen



(b) Preisträger des von Würth Elektronik zur Verfügung gestellten Best-Paper-Awards

Abbildung 2.6: Eindrücke von der IEEE Germany Student Conference 2018

VDE Hochschulgruppe Magdeburg⁶

Seit mehr als einem Jahr existiert nun die VDE Hochschulgruppe an der Otto-von-Guericke-Universität. Die Mitgliederzahl wächst stetig und kompensiert somit das Ausscheiden der Studierenden, die ihren Abschluss erreicht und die Hochschule somit verlassen haben. Glücklicherweise konnte die HSG ihren Kreis auf die Hochschule Magdeburg-Stendal ausweiten und somit die Studierenden beider Hochschulen genauso vernetzen, wie beiden die Möglichkeit der Teilnahme an Exkursionen geben.

Neben der Planung und Organisation einiger Exkursionen (siehe Exkursionsberichte) enthielt das Angebot auch die Teilnahme an zahlreichen deutschlandweiten VDE-Events, wie dem „young-pro-Treffen“, dem „VDE tech-summit“ und anderen vom Dachverband durchgeführten Veranstaltungen. Für die Zukunft sind eine Kooperation mit der IEEE Student Branch der Otto-von-Guericke-Universität, der VDE-HSG aus Braunschweig und weitere Exkursionen angestrebt. Über Bewerbung der Hochschulgruppe in Lehrveranstaltungen und darüber hinaus ist der Vorstand des Magdeburger VDE-Bezirksverbands sehr dankbar.

⁶von M. Sc. Marc Gebhardt

2.5.2 Kooperationen

Deutschsprachiger Studiengang⁷

Im Rahmen des Projektes *Deutschsprachiger Studiengang* besuchten acht ukrainische Lehrerinnen die Otto-von-Guericke-Universität. Dr. Behm vom Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung fungiert dabei als Koordinator der Gemeinsamen Ukrainisch-Deutschen Fakultät GUDF.

In dem Zeitraum vom 26.08.2018 bis zum 02.09.2018 wurden verschiedene Vorlesungen im Bereich Elektrotechnik und Maschinenbau gehalten, um den Lehrerinnen das Fachvokabular näher zu bringen. Die Vorlesungen im Bereich Elektrotechnik beschränkten sich auf die energietechnischen Grundlagen: Energieversorgungs- und Drehstromsystem, elektrische Leitung, Transformator, Generator und erneuerbare Energien.

Ab dem 01.01.2019 starten die Fortsetzung und der weitere Ausbau des Projektes. Das Ziel ist es in Kooperation mit den drei ukrainischen Universitäten im kommenden Semester einen deutschsprachigen Ingenieursstudiengang anzubieten. Dabei finden Anfang März Gastvorlesungen in den Bereichen Elektrotechnik und Maschinenbau in der Ukraine statt. Ausgewählten, engagierten Studierenden wird im Rahmen des Projektes die Möglichkeit eines Austausches gegeben. Dabei können diese ein Semester lang an den Vorlesungen teilnehmen sowie die Forschungsarbeit und die Masterarbeit an der Otto-von-Guericke-Universität anfertigen.

Studierendenkonferenz des German-Russian Institute of Advanced Technology (GRIAT) in Magdeburg⁸

Das German-Russian Institute of Advanced Technology, kurz GRIAT, ist ein Gemeinschaftsprojekt der Kasaner Nationalen Technischen Forschungsuniversität (KNRTU-KAI), der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg sowie der Technischen Universitäten in Ilmenau und Kaiserslautern. Hauptsächlich russische Studierende besuchen in Austauschsemestern Masterkurse an den deutschen Universitäten und beginnen hier auch die Arbeit an ihren Masterarbeiten.

Im Rahmen einer eintägigen Studierendenkonferenz am 01. März 2018 stellten sich die Studierenden dabei gegenseitig ihre jeweiligen bisherigen Ergebnisse vor. Weiterhin nahmen natürlich auch die Betreuer der Arbeiten sowie weitere Vertreter des DAAD, der beteiligten Hochschulen und externer Industriepartner an der Studierendenkonferenz teil. Nachdem die letzte Austragung 2017 in Ilmenau stattfand, war die diesjährige Konferenz am 01. März 2018 wieder in Magdeburg.

Nach einem Grußwort vom Magdeburger Rektor Jens Strackeljan stellten folgende Studiengänge Ihre Ergebnisse vor:

- Chemical and Energy Engineering
- Communications and Signal Processing
- Electrical Engineering and Information Technology (siehe Abbildung 2.7)
- Embedded Computing Systems
- Research in Computer and Systems Engineering
- Systems Engineering and Cybernetics
- Automotive Engineering

⁷von M. Sc. Sebastian Helm

⁸von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Die Konferenz fand in den Räumlichkeiten der Experimentellen Fabrik statt. Anschließend gab es noch eine Führung durch die Labore des Medizintechnik-Campus STIMULATE und die Absorberhalle des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit.



Abbildung 2.7: Studierende des Studiengangs „Electrical Engineering and Information Technology“ und deren Betreuer bei der Studierendenkonferenz des German-Russian Institute of Advanced Technology (GRIAT) in Magdeburg (Fotograf: Harald Krieg)

Doppeldiplomprogramm mit der Technischen Universität Wrocław – Verteidigung und feierliche Zeugnisübergabe⁹

Aufgrund der hohen Wettbewerbsfähigkeit und der wachsenden Anforderungen des Arbeitsmarktes ist der Bildungsprozess junger Menschen heute noch wichtiger denn früher. Deshalb werden die neue Perspektiven für den Bildungsabschluss und die notwendigen beruflichen Qualifikationen benötigt. Die ständige Erweiterung der Europäischen Union hat die Möglichkeiten für Austausch und Studium im Ausland, z. B. in anderen EU-Ländern, erhöht. Die zunehmende Mobilität der Studierenden in der EU hat es notwendig gemacht, die Struktur der Hochschulbildung zu harmonisieren. Austauschprogramme, z. B. ERASMUS, bieten die Möglichkeit, für einen bestimmten Zeitraum an einer ausländischen Partnerhochschule zu studieren. Im Rahmen solcher Austauschprogramme kann ein Student jedoch kein Diplom von einer Partnerhochschule erhalten. Im Jahr 2002 haben die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Otto-von-Guericke in Magdeburg und die Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Breslau ein neues Konzept der Bildungsk Kooperation im Rahmen des Projekts Doppeldiplom gestartet, das die Möglichkeit bietet, das Masterstudium an beiden Universitäten abzuschließen. Zu Beginn des Projekts waren gute Noten während des Studiums an der Heimathochschule (Technische Universität Breslau, PWr) und Deutschkenntnisse vorausgesetzt. Seit 2012 wird das Programm nur in englischer Sprache durchgeführt. Qualifizierte Studierende studieren zwei Semester an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Nach bestandener Prüfung und Verteidigung der Masterarbeit erhält der Student von beiden Partneruniversitäten ein Masterzeugnis.

Die Bildungsstruktur beider Universitäten unterscheidet sich leicht voneinander. Obwohl die OvGU in Magdeburg die Möglichkeit bietet, an fast allen Fakultäten zu studieren, ist die

⁹ von Prof. Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki

2 Studium und Lehre

Gesamtzahl der dort studierenden Studierenden fast viermal geringer als an der Universität in Breslau. Darüber hinaus waren organisatorische Unterschiede, wie z. B. die Möglichkeit der Wahl zusätzlicher Fächer und die Notwendigkeit, ein Industriepraktikum zu absolvieren, eine große Herausforderung für die Organisatoren des Doppeldiploms.

Am 16. April 2004 absolvierten die ersten Studierenden, Wojciech Boryczko, Przemysław Komarnicki und Tomasz Majerz, die Abschlussprüfung an der OvGU in Magdeburg, und am 7. Mai 2004 – eine Woche vor der Erweiterung der Europäischen Union - fand im Senat der Technischen Universität Breslau eine Doppeldiplomverleihung statt (Abb. 2.8). Eine weitere Bestätigung für die hervorragenden Ergebnisse des Doppeldiplomprojekts ist die Tatsache, dass eine der drei Abschlussarbeiten vom VDE als beste Masterarbeit des Jahres 2004 ausgezeichnet wurde. Das Doppeldiplomprojekt hat zunehmender Beliebtheit bei den Studierenden erfahren, was durch die Anzahl der Studenten bestätigt wurde, die an dem Programm teilnehmen wollten. Die polnische Gruppe, die in 2005 ihr Studium in Magdeburg begann, hatte bereits 8 Studenten.

Bislang haben 47 Teilnehmer Abschlüsse von deutschen und polnischen Universitäten erworben. Die Absolventen beschäftigten sich mit aktuellen Themen rund um die Entwicklung erneuerbarer Energien und die Funktionalitäten der Smart Grids.



Abbildung 2.8: Diplomverleihung für Doppeldiplomstudenten in 2004 an der PWr (links), erste Verteidigung von Doppeldiplomarbeiten in 2004 an der OvGU (rechts)

Das Projekt begann in 2002, bevor Polen Mitglied der Europäischen Union wurde und der Durchbruch bei der weit verbreiteten Nutzung erneuerbarer Energiequellen gelang. Die Partnerschaft der beiden kooperierenden Universitäten OvGU und PWr bot eine einzigartige Möglichkeit, eigene didaktische Kompetenzen zu entwickeln (neue Studiengänge), aber auch an einem attraktiven Forschungsthema mitzuwirken. Die Ergebnisse dieses Projekts werden von beiden Seiten noch viele Jahre lang genutzt.

2.5.3 Exkursionen

Exkursion zu ENERCON¹⁰

Auch dieses Jahr ermöglichte Enercon am 14.06.2018 interessierten Studentinnen und Student für ein paar Stunden hinter die Kulissen des Standortes Magdeburg zu schauen. Die Betreuung der Exkursion vom Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie übernahm die wissenschaftlichen Mitarbeiterin Nicola Gast.

¹⁰von M. Sc. Nicola Gast

Nach einer freundlichen Begrüßung, ein paar Worten zum Unternehmen und einer kompakten Einweisung in die Sicherheitsvorschriften ging es, mit Warnfesten ausgestattet, in die Produktionshalle des größten deutschen Herstellers von Windenergieanlagen. In der zweistündigen Führung wurden die einzelnen Produktionsprozesse, die eine Windenergieanlage durchlaufen muss, anschaulich und ausführlich erklärt. Ebenso wurden auf die vielen aufkommenden Fragen der Gruppen sehr detailliert und fachkundig eingegangen. Neben den technischen und physikalischen Eigenschaften konnte vor allem ein Eindruck über die Dimensionen solcher Windenergieanlagen und ihrer einzelnen Komponenten gewonnen werden.



Abbildung 2.9: TeilnehmerInnen der Exkursion ins Enercon Werk Magdeburg

Exkursion ins Pumpspeicherkraftwerk¹¹

Am 11.06.2018 führten Studierende der Otto-von-Guericke Universität unter der Leitung von Eric Glende und Marc Gebhardt in Zusammenarbeit mit dem IEEE und dem VDE eine Exkursion in das Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal der Vattenfall GmbH durch. Den Studierenden wurde im Informationszentrum Goldisthal zunächst ein Überblick über die gesamte Anlage, die Betriebsführung und die Geschichte der Anlage ermöglicht. Anschließend folgte eine zweistündige Führung durch das Pumpspeicherkraftwerk mit seinen Sammelbecken, Kavernen und Maschinenräumen. Hier bot sich die Möglichkeit, Betriebsmittel wie Turbinen, Generatoren und Transformatoren vor Ort zu inspizieren.

Im Anschluss daran fuhr die Gruppe nach Erfurt ins Generatorenwerk von Siemens für eine weitere Exkursion. Nach einer kurzen Begrüßung folgte eine Präsentation über das Unternehmen und seine Geschichte. Nach der Ausstattung mit der notwendigen Sicherheitsbekleidung folgte eine einstündige Führung durch die Montagehalle des Unternehmens. Anhand der Führung wurden die verschiedenen Montageschritte von Generatoren anschaulich und nachvollziehbar erklärt. Des Weiteren konnten auf die vielen aufkommenden Fragen der Gruppe fachkundig eingegangen werden.

Abschließend ließ die Gruppe den Abend bei einem gemeinsamen Abendessen in Erfurt ausklingen, bevor sie sich am nächsten Tag auf den Rückweg machten.

¹¹von M. Sc. Marc Gebhardt



Abbildung 2.10: Gruppenfoto im PSW Goldisthal



Abbildung 2.11: Besuch des Generatorenwerkes der SIEMENS AG in Erfurt

2.5.4 Studienwerbung

Vorstellung des Freileitungsversuchs zum CampusDay 2018¹²

Am 02.06.2018 fand die *13. Lange Nacht der Wissenschaft 2018* statt. Neben zahlreichen Infoständen sowie Vorführungen der unterschiedlichen Fachbereiche war auch wieder der Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie mit dem Freileitungsversuch vertreten.

Der Versuch veranschaulicht die Stärke der entstehenden elektrischen und magnetischen Felder einer Freileitung. Anhand eines Vergleichs mit einer handelsüblichen Bohrmaschine kann den Besuchern dargestellt werden, dass die entstehenden Felder der Freileitung bei Einhaltung der Mindestabstände schwächer sind als die der Bohrmaschine. Neben dem praktischen Versuch wurde den Besuchern darüber hinaus auch die theoretischen Grundlagen der elektrischen und magnetischen Felder dargestellt. Über den Abend hinweg konnte der Lehrstuhl zahlreichen interessierten Besuchern den mit mehreren 1000 A betriebenen Versuch zeigen und in einer Vielzahl an Live-Demonstrationen den Vergleich zeigen.



Abbildung 2.12: Freileitungsversuch des Lehrstuhls für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

LENA-Team beim Drachenbootrennen 2018¹³

Wie bereits im letzten Jahr stellte der Lehrstuhl ein Team in der diesjährigen Drachenbootregatta. Nach zwei Trainingseinheiten in den letzten Wochen startete das Team „LENA voller Elan“ hochmotiviert in die erste Runde und konnte sich mit einem zweiten Platz für den Zwischenlauf qualifizieren. Zudem wurden im ersten Lauf die ebenso startenden Kollegen des IEEE-Boots klar geschlagen. Im zweiten Lauf konnte sich das Team noch steigern und erreichte wieder den zweiten Platz. Insgesamt konnte sich das Team dank des starken Teamgeists und der großen Motivation im Vergleich zum letzten Jahr steigern und belegte am Ende den siebten Platz. Ein großer Dank geht zuallererst an die Studierenden und Freunde, die unser Boot komplettiert haben und somit auch einen erheblichen Anteil am gelungenen Event hatten.

¹² von M. Sc. Jonte Dancker

¹³ von M. Sc. Marc Gebhardt

Das Team bedankt sich ebenso bei den Organisatoren für die gelungene Veranstaltung und freut sich bereits auf nächstes Jahr.



Abbildung 2.13: Team „LENA voller Elan“ beim Drachenbootrennen 2018

Mäuse experimentieren in der Absorberhalle!¹⁴

Bereits zum vierten Mal öffnete der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit am 3. Oktober zum bundesweiten Maustüröffnertag seine Absorberhalle in der Experimentellen Fabrik. Die Veranstaltung „Türen Auf!“ wird jährlich von der bekannten Sendung mit der Maus des Westdeutschen Rundfunks ins Leben gerufen. Dabei können öffentliche Einrichtungen, Firmen, Handwerksbetriebe und Forschungsinstitute ihre sonst für Kinder verschlossenen Türen öffnen und mit kleinen Demonstrationen und Experimenten zum Mitmachen und Nachdenken über Kunst, Kultur, Naturwissenschaft und Technik anregen. Eingeladen in Magdeburg waren wie immer interessierte Kinder zwischen 5 und 10 Jahren, um alles über ferngesteuerte Autos und Funkwellen zu erfahren.

In der großen Messhalle, die sonst für Untersuchungen der gestrahlten elektromagnetischen Verträglichkeit genutzt wird, konnten die Kinder dann ausprobieren, wie funkferngesteuerte

¹⁴von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Autos funktionieren (siehe Abbildung 2.14), wie sich Funkwellen gegenseitig überlagern, wie man mit einem Gummiseil selbst Wellen erzeugen kann und ob eine „Mauer“ aus Menschen Funkwellen abblockt oder ob dafür ein metallischer Drahtkäfig nicht doch besser geeignet ist. Außerdem gab es kleine Experimente mit einem Elektrobaukasten, Morse-Codes zum Ausprobieren und die Klärung der Frage, warum ein Metalltopf in einem handelsüblichen Mikrowellenofen keine gute Idee ist.

Die sechs Vorführungen zwischen 10 und 16 Uhr für jeweils etwa 10 Kinder waren auch diesmal mehrere Wochen im Voraus ausgebucht. Die Vorbereitungen und Anstrengungen der Organisatoren wurden mit vielen interessierten, erstaunten und begeisterten Kinderaugen belohnt. Selbst viele Eltern waren der Meinung, auch noch etwas gelernt zu haben.



Abbildung 2.14: Der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit öffnete am 3. Oktober seine EMV-Absorberhalle bereits zum vierten Mal zum Maus-Türöffner-Tag.

Leuchtende Kinderaugen beim Tag der offenen Labortür für Grundschul Kinder der Grundschule „Am Elbdamm“¹⁵

Viel zu entdecken gab für die Kinder der 1. Klassen der Grundschule „Am Elbdamm“ aus Magdeburg am Freitag, den 22. Juni, bei einem Tag der offenen Labortür in der experimentellen Fabrik. Eingeladen hatten dazu die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik sowie der Forschungscampus STIMULATE. Die insgesamt 42 Kinder experimentierten in Vierer- und Fünfergruppen an insgesamt zehn Stationen.

So konnten die Kinder z. B. ausprobieren, wie man mit einer Zitrone eine kleine Diode zum Leuchten bringt, welche Materialien den elektrischen Strom leiten, wie man Signale drahtlos per Morse-Codes übertragen kann oder wie sich Funksignale von ferngesteuerten Autos gegenseitig beeinflussen. Außerdem konnten LEGO-Roboter programmiert und kleine Ozobots gesteuert werden, die anhand von selbstgemalten Linien und Farbcodes eine bestimmte Strecke abfahren (siehe Abbildung 2.15). Am Minicomputer Calliope konnten die Kinder ihren Namen auf einem LED-Display ausgeben lassen oder eine kleine Melodie programmieren. Musikalisch ging es auch bei der Station mit dem Makey Makey zu, bei denen die Kinder ein Möhrenpiano bauten. Aus

¹⁵ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

2 Studium und Lehre

dem Bereich der Medizintechnik demonstrierte ein Memoryspiel mit Schnittbildern von Früchten, welche Vorteile die verschiedenen medizinischen Bildgebungsverfahren bieten.

Ein großer Dank geht an alle mitwirkenden KollegInnen und Studierenden, die aktiv eine Station betreuten oder sich um die Organisation sowie den Auf- und Abbau kümmerten. Ein großes Dankeschön gab es auch von den Lehrerinnen und allen Kindern, die in Zukunft „unbedingt wieder kommen möchten“, eventuell ja auch mal als Student oder Studentin.

Am Montag, den 25. Juni, hatten dann die 45 Kinder der 2. Klassen der Grundschule „Am Elbdamm“ die Möglichkeit, sich ähnliche Experimentierstationen anzuschauen. Für die 3. Klassen mit 50 Kindern folgte der große Tag dann am Freitag, den 07. September.



Abbildung 2.15: Grundschulkindern programmieren Ozobots – kleine Roboter, die farbige Linien entlang fahren und sich anhand verschiedene Farbmuster steuern lassen (Fotograf: Peter Knüppel)

Weiterhin besuchten uns folgende weitere Einrichtungen zu einem Tag der offenen Labortür mit ähnlichen Mitmachstationen:

- 6. Klassen der Gemeinschaftsschule A. W. Francke am Freitag, den 09., 16. und 23. November 2018
- 3. Klasse der Grundschule „Am Westring“ am Freitag, den 02. November 2018
- 2. Klasse der Grundschule „Am Hopfengarten“ am Freitag, den 19. Oktober 2018
- Kindergartenkinder der KiTa „Abenteuerland“ am Donnerstag, den 06. September 2018
- 10. Klassen des Domgymnasium am Mittwoch, den 05. September von 13.00 Uhr bis 15.00 Uhr
- Kindergartenkinder der KiTa „Ohrespatzen“ aus Wolmirstedt am 08. Juni 2018
- Kindergartenkinder der Kindertagesstätte Weitlingstraße am 20. April 2018
- 5. Klassen der Neuen Schule Magdeburg am Freitag, den 06. und 13. April 2018

Experimente zur Elektrotechnik beim Fest der kleinen ForscherInnen¹⁶

Am Samstag, den 16. Juni, beteiligte sich der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit zum zweiten Mal am Fest der kleinen ForscherInnen im Familienhaus im Magdeburger Nordpark. Diese Veranstaltung wird jährlich von den Ingenieuren ohne Grenzen organisiert und soll Grund- und Vorschulkinder mit kleinen Experimenten zum Mitmachen einladen. Am Stand des Lehrstuhls konnten die jungen ForscherInnen mit Hilfe eines Elektrobaukastens z. B. eine Polizeisirene zum Heulen bringen oder einen kleinen Propeller fliegen lassen (siehe Abbildung 2.16). Außerdem gab es passend zum herrlichen Sommerwetter ein „Eimerklavier“, das man mit Hilfe seiner Füße oder Hände durch „Patschen“ im Wasser spielen konnte.



Abbildung 2.16: Kinder experimentieren beim Fest der kleinen ForscherInnen mit einem Elektrobaukasten (Foto: Birgit Magdowski)

An vielen anderen Ständen konnten die Kinder sich weiterhin in Experimenten zu Musikinstrumenten, schwebenden Untertassen, einem Kinderumweltbus, einer Chemierakete, einem Feinstaubmesser und geheimen Nachrichten ausprobieren. Für jede Station gab es einen Stempel auf dem „ForscherInnenausweis“ als Bestätigung und am Ende konnte sich dann jeder sein „ForscherInnendiplom“ mit nach Hause nehmen.

2.5.5 Preise

Dr.-Ing. Mathias Magdowski mit Lehrpreis der Otto-von-Guericke-Universität ausgezeichnet!¹⁷

Die Otto-von-Guericke-Universität hat anlässlich des 416. Geburtstages Ihres Namenspatrons auf dem Akademischen Festakt, der wichtigsten Veranstaltung der Alma Mater im akademischen Jahr, exzellente Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ausgezeichnet.

¹⁶ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

¹⁷ von Marcel Enke

Im Beisein von VertreterInnen der Landesregierung, der Kommunalpolitik, der Otto-von-Guericke-Gesellschaft sowie außeruniversitärer Wissenschaftseinrichtungen und zahlreicher Universitätsangehöriger wurden in der Magdeburger Johanniskirche die höchsten Auszeichnungen der Universität in Forschung und Lehre vergeben (siehe Abbildung 2.17).

Die Auszeichnung für hervorragende Lehre, der Lehrpreis der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ging dabei an Dr.-Ing. Mathias Magdowski.

Er engagiert sich seit Jahren in herausragender Weise in der studentischen Lehre. Sein Schwerpunkt liegt auf interaktiven Lehrangeboten, die eine gemeinsame Auseinandersetzung mit Themen fördern und diese dabei verstärkt mit digitalen Lernwerkzeugen umsetzen.

Die Fakultät gratuliert Herr Dr.-Ing. Magdowski zur Verleihung des Lehrpreises und wünscht Ihm für die Zukunft alles Gute.



Abbildung 2.17: Die PromotionspreisträgerInnen Jun.-Prof. Dr. rer. pol. Danja R. Sonntag, Dr.-Ing Mahsa Fatahi, Dr.-Ing. Kristin Jo Hecht, Dr.-Ing. Juliana Arriel, Dr.-Ing. Johanna Eisenträger und Prof. Dr. Monika Brunner-Weinzierl, Prorektorin für Forschung, Technologie und Chancengleichheit der Universität Magdeburg (vordere Reihe v. l. n. r.)

Prof. Dr. Franziska Scheffler Prorektorin für Studium und Lehre der Universität Magdeburg, Forschungspreisträger Prof. Dr. Marko Sarstedt, *Lehrpreisträger Dr.-Ing. Mathias Magdowski*, die Promotionspreisträger Dr.-Ing. Andreas Jörke, Dr. med. Tino Breiffeld, Dr. rer. nat. Pawan Kumar Goyal, Dr. rer. nat. Gordon Schmidt und der Rektor der Universität Magdeburg, Prof. Dr.-Ing. Jens Strackeljan (hintere Reihe v. l. n. r.)

Foto: Jana Dünnhaupt

Zweiter Platz für Mathias Magdowski beim Hörsaalslam der Ingenieure ohne Grenzen und des FaRaFVST¹⁸

Der Hörsaalslam der Ingenieure ohne Grenzen und des Fachschaftsrates der Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik hat mittlerweile eine gute Tradition und fand am letzten Donnerstag, dem 24. Mai, bereits zum vierten Mal an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg statt. Stets beeindruckend ist die Kulisse eines nahezu vollbesetzten Hörsaals 5 in Gebäude 16, der während der normalen Vorlesungen wahrscheinlich selten so viele Studierende sieht (siehe Abbildung 2.18).

¹⁸von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Im Science Slam, der den Abend eröffnete, geht es darum, einem fachfremden Publikum sein eigenes Forschungsthema möglichst kurz und kurzweilig zu präsentieren. Sich dabei an die 8-minütige Zeitbegrenzung zu halten, ist schwieriger als es zunächst klingt. Dieser Herausforderung stellte sich neben drei weiteren SlammerInnen auch Mathias Magdowski vom Lehrstuhl für elektromagnetische Verträglichkeit am Institut für Medizintechnik. Für seine Erklärung, warum in Magdeburg an und in einer $4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 8\text{ m}$ großen Mikrowelle geforscht wird, wurde er vom Publikum mit 53 Punkten und dem zweiten Platz belohnt. Als Sieger des Abends würde Sascha Weber von der Hochschule Magdeburg-Stendal gekürt, der über Auswirkungen von politischen Reformen auf hilfsbedürftige Personen sprach.



Abbildung 2.18: Science-Slam-Atmosphäre im Hörsaal 5 an der Otto-von-Guericke-Universität (Fotograf: Adrian Osterburg)

2.5.6 Workshops

Große studentische Beteiligung am Workshop zum Tag der Lehre¹⁹

Um die Bedeutung guter Hochschullehre hervorzuheben und zu fördern, gibt es an der Otto-von-Guericke-Universität seit nunmehr fünf Jahren einen Tag der Lehre, der in diesem Jahr am 30. Mai stattfand. Damit alle Lehrenden und auch Lernenden Zeit für Workshops und Diskussionsrunden haben, finden an diesem Tag ab 13 Uhr keine regulären Lehrveranstaltungen statt.

Den Auftakt bildete in diesem Jahr ein Keynote-Vortrag von Prof. Jörn Loviscach von der Fachhochschule Bielefeld zum Thema „Digitalisierung der Hochschullehre: Was wissen wir wirklich?“. Anschließend gab es einen fakultätsinternen Workshop zu den Themen „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer Review“ und „QR“-Code“=Papier zum automatischen Korrekturversand“, an dem sich auch zahlreiche Studierenden aus dem Grundstudium und insbesondere aus der Lehrveranstaltung „Grundlagen der Elektrotechnik“ beteiligten. Nach einem kurzen Impulsvortrag von Mathias Magdowski gab es eine lebhafte Diskussion über die Vor- und Nachteile digitaler Werkzeuge im E-Technik-Studium und wichtige Motivationsfaktoren zu deren Nutzung auf studentischer Seite.

¹⁹ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

2 Studium und Lehre

Am Ende fanden es alle Beteiligten etwas schade, dass der nächste Tag der Lehre erst in einem Jahr stattfindet, denn so wie man seine Mutter nicht nur am Muttertag ehren sollte, wäre es wünschenswert, wenn sich das Nachdenken über gute Hochschullehre und deren Gestaltung an der OvGU nicht nur auf einen alljährlichen Nachmittag beschränken würde.



Abbildung 2.19: Workshop mit Studierenden der FEIT zum Tag der Lehre (Fotograf: Thomas Schallschmidt)

3 Forschung

3.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

3.1.1 Forschungsprofil

Inhalte

Gegenstand der Forschung im Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme sind neben der elektrischen Maschine auch die Regelung und das leistungselektronische Stellglied sowie die Interaktion der Komponenten im Gesamtsystem.

Neben der Entwicklung neuer und der Weiterentwicklung von bestehenden Konzepten für die Optimierung solcher Systeme, werden auch neue bisher nicht genutzte Anwendungsfelder für elektrische Maschinen erschlossen. Hierfür steht die Vereinfachung der Konstruktion des elektrischen und des mechanischen Systems durch einen angepassten und erweiterten Einsatz der Regelung sowie der Leistungselektronik besonders im Mittelpunkt der Betrachtungen. Ziel ist es, insbesondere die Produktionskosten und den Betriebsaufwand eines elektrischen Antriebssystems zu reduzieren und gegebenenfalls bestehende konventionelle Systeme zu ersetzen.

Schwerpunkte

Magnetisch gelagerte Systeme für universelle Anwendungen Aktiv magnetisch gelagerte Systeme besitzen ein breites Anwendungsspektrum, was auf die bekannten Vorteile, wie Berührunglosigkeit, Verschleißfreiheit und die über die Regelung beeinflussbare Dämpfung und Steifigkeit, zurückzuführen ist. Dem gegenüber steht ein erhöhter Hardware- und Kostenaufwand, bezogen auf Sensorik, Aktorik, Leistungselektronik und Reglerkomponenten. Am Beispiel eines in 5 Freiheitsgraden magnetisch gelagerten Werkzeugmaschinenrundtisches, der in Abbildung 3.1 dargestellt ist, werden verschiedene technische Fragestellungen experimentell untersucht.

Neben einer Erprobung von zentralen und dezentralen Regelungen zur Positionierung des Schwebekörpers werden auch Konzepte für die Kompensation der Nichtlinearität im gesamten Arbeitsbereich analysiert. Dabei bezieht sich die Nichtlinearität auf die Luftspaltabhängigkeit der Induktivität und dem quadratischen Zusammenhang zwischen Magnetkraft und Strom.

Weiterhin werden aufgrund der technischen Realisierung dieser Lagerung, Möglichkeiten der aktiven Schwingungsdämpfung untersucht. Durch Erweiterungen der bestehenden Regelalgorithmen kann eine Dämpfung interner und externer Schwingungen erreicht werden, wodurch dieses Lagerprinzip auch zur Schwingungsisolation eingesetzt werden kann.

Ziel ist es, den höheren gerätetechnischen Aufwand zu verringern, eine höhere Verfügbarkeit und Robustheit sowie universellere Anwendungsmöglichkeiten gegenüber der konventionellen Technik zu erreichen.

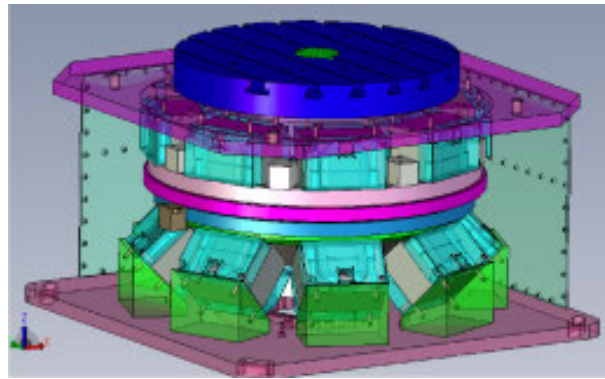


Abbildung 3.1: Magnetisch gelagerter Rundtisch

Gegenseitig ergänzende Auslegung der elektrischen Maschine und der Regelung Die Regelung elektrischer Maschinen basiert fast immer auf der zur regelnden Maschine. Bei der Auslegung der elektrischen Maschinen hingegen, wird meistens der Regler nicht betrachtet. Berücksichtigt man die Möglichkeiten der Regelung schon bei der Maschinenauslegung, wie in Abbildung 3.2 gezeigt ist, so kann z. B. eine höhere Leistungsdichte bei gleichzeitig niedrigerem Produktionsaufwand realisiert werden. Daher werden neue Auslegungskriterien und Auslegungsmethoden der Maschine im Zusammenhang mit der Regelung untersucht. Auslegungsziele wie Leistungsdichte, Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit und Produktionsaufwand werden hierbei in Betracht gezogen.

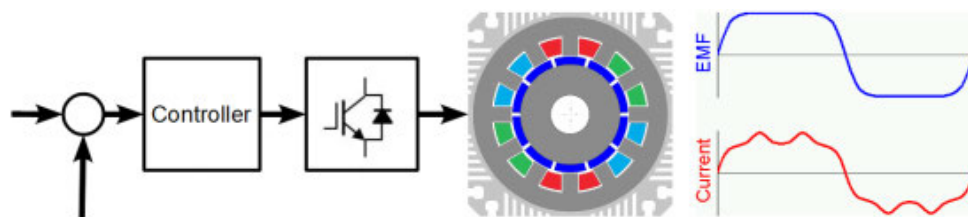


Abbildung 3.2: Regelung von Maschinen nicht sinusförmiger elektromotorischer Kraft

Elektrische Antriebssysteme mit optimaler Integration in der Arbeitsmaschine In elektrischen Antriebssystemen wird in der Regel die elektrische Maschine mit der Arbeitsmaschine mit Hilfe eines mechanischen Übertragungssystems verbunden. Das erlaubt z. B. den Einsatz von standardisierten rotierenden Maschinen. Die Art und die Kenngrößen der Bewegungsabläufe werden dann über Getriebe, Kugelgewindetrieb, Zahnriemen, Kurbeltrieb etc. an die Arbeitsmaschine angepasst.

Mechanischen Übertragungssysteme sind durch ihren Verschleiß und der damit verbundenen Wartung gekennzeichnet und sie beeinflussen zudem die Dynamik, die Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems. In Abhängigkeit der Anwendung können durch die Reduzierung der mechanischen Übertragungssysteme wichtige Vorteile erzielt werden. Dafür muss die elektrische Maschine optimal an die Arbeitsmaschine angepasst werden. Dieser Ansatz, der in Abbildung 3.3 dargestellt ist, erfordert daher neue Konzepte für elektrische Maschinen sowie dessen Auslegung und Regelung.

Lagegeberlose (sensorlose) Regelung elektrischer Maschinen Die Position bzw. die Lage ist eine wichtige Rückführgröße für geregelte elektrische Antriebe. Normalerweise werden hierfür Lagegeber eingesetzt. Sie sind aber ein aufwendiger Bestandteil des Antriebes. Der Lagegeber und die entsprechende Signalübertragung zum Regler sind auch die Ursache für eine erhöhte

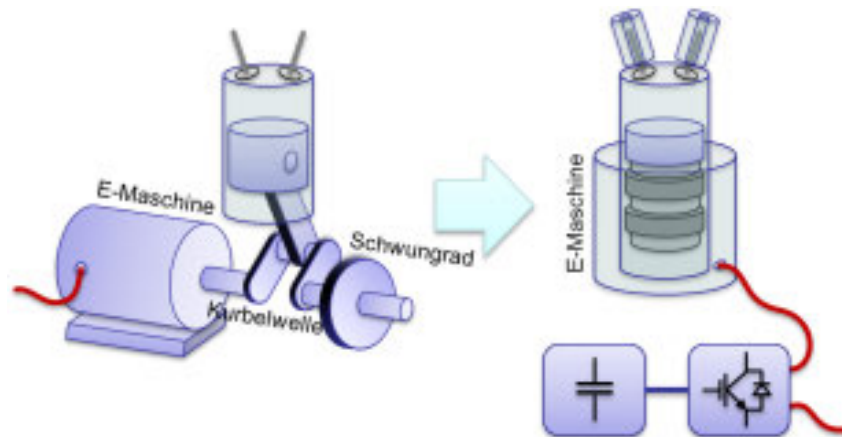


Abbildung 3.3: Einsatz von elektrischen Linearmaschinen bei Verbrennungsmotoren

Störanfälligkeit des Antriebes. In einige Anwendungen kann es auch vorkommen, dass raue Umgebungsbedingungen den Einsatz von Lagegebern verhindern.

Die Lage des Motorläufers kann aber auch indirekt über die Messung nur elektrischer Größen, z. B. Phasenspannung und/oder Phasenstrom, ermittelt werden. Diese Methode wird als sensorlose oder lagegeberlose Regelung bezeichnet und ist in Abbildung 3.4 schematisch gezeigt. Die lagegeberlose Regelung wird schon seit zwei Jahrzehnten in der wissenschaftlichen Literatur behandelt, wurde aber bislang kaum von der Industrie umgesetzt. Der dadurch entstehende Forschungsbedarf bezieht sich besonders auf eine höhere Genauigkeit, Dynamik und Parameterunabhängigkeit, besonders im unteren Geschwindigkeits- und Stillstandsbereich.

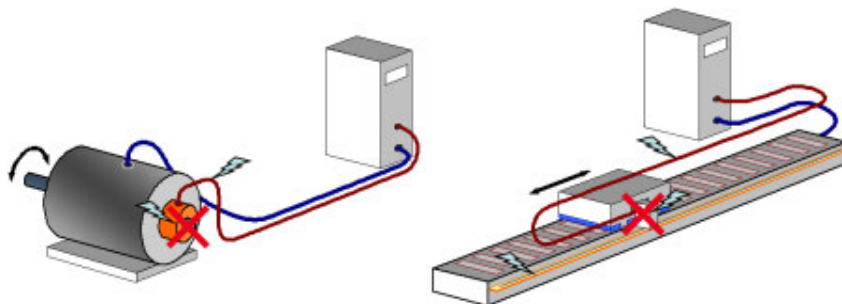


Abbildung 3.4: Sensorlose Regelung elektrischer Maschinen

3.1.2 Forschungsprojekte

Auslegung und Regelung einer linearen Reluktanzmaschine für eine Membranvakuumpumpe¹

Kompressoren und Pumpen weisen oft einen linearen Bewegungsverlauf auf. In konventionellen Systemen wird dieser durch die Umwandlung der Bewegung einer rotierenden Maschine mit Hilfe eines Exzenters oder einer Kurbelwelle erreicht. Um diese mechanische Kraftumformung einzusparen und direktes Feedback des Pumpvorgangs an der antreibenden Maschine zu erhalten, kann ein elektrischer Linearantrieb verwendet werden. Diese Arbeit betrachtet eine Membranvakuumpumpe mit zwei gegenüberliegenden Pumpköpfen, für die dieser Ansatz umgesetzt wurde.

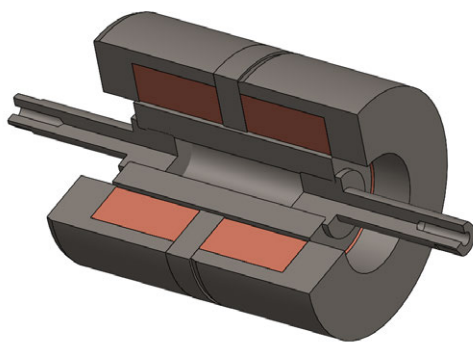
¹von M. Sc. Sebastian Benecke, Dipl.-Ing. Niklas Förster, M. Sc. Benjamin Horn und Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

In externen Vorarbeiten wurde bereits die Kopplung der Membranen auf einen gemeinsamen Schaft, der von einer permanenten Linearmaschine angetrieben wurde, umgesetzt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Anforderungen an die elektrische Maschine wurden genutzt, um eine Reluktanzmaschine zu entwerfen, die eine einfache Struktur aufweist und kostengünstig herzustellen ist.

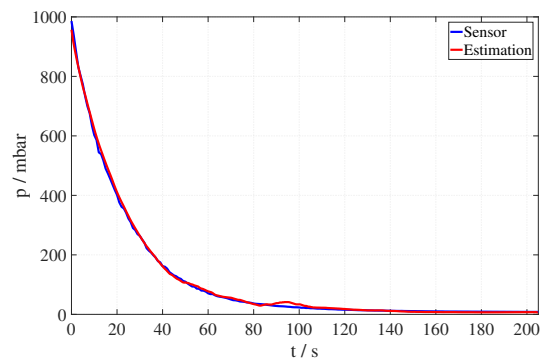
Die elektrische Maschine benötigt zwei Phasen, um eine Kraft in beide Richtungen aufbringen zu können. Im ersten Schritt wurde ein FEM-Modell für die Reluktanzmaschine aufgestellt, dessen Geometrie anschließend auf die höchste durchschnittliche Kraft optimiert wurde. Die resultierende Maschine ist in Abbildung 3.5a dargestellt. In einer Betriebssimulation konnte durch Modellierung des Pumpprozesses die Lastmaschine nachgebildet werden, um einen Regelungsalgorithmus aufzustellen. Um möglichst hohe Energieeffizienz zu gewährleisten, ist ein Betrieb bei Resonanz des mechanischen Systems sichergestellt. Dabei sind keine zusätzlichen Federn notwendig, da die Steifigkeit der Membranen die Rückstellkraft an den Endpositionen liefert.

Auf der Grundlage des Betriebsmodells konnte ebenfalls die Möglichkeit einer sensorlosen Druckerfassung erarbeitet werden. Mit Hilfe eines Störgrößenbeobachters war die Berechnung der Lastkraft aus dem Strom und der Position des Läufers möglich. Da sich die Lastkraft unter anderem aus der Kraft aufgrund der Druckdifferenz ergibt, kann somit die Druckdifferenz geschätzt werden.

In den abschließenden Arbeiten wurde ein Prototyp des ausgelegten Linearaktors aufgebaut und mit der Lastmaschine verbunden. Der Regelungsalgorithmus inklusive Druckbeobachter konnte auf einem Mikrocontroller umgesetzt und somit die Maschine für experimentelle Messungen erfolgreich in Betrieb genommen werden, was Abbildung 3.5b zeigt.



(a) Reluktanzmaschine



(b) Druckverlauf

Abbildung 3.5: CAD-Modell der aufgebauten Reluktanzmaschine sowie gemessener und geschätzter Druckverlauf bei Betrieb der Vakuumpumpe

Investigation of Common-Mode Current Elimination in Four-Wire Inverter-Fed Motor²

The four-wire inverter topology consists of a three-phase electric machine, in which the neutral point is connected to the mid of the DC-link capacitor-bank. Electric drive systems with this topology can realize position sensorless control and fault-tolerance operation. But the common-mode (CM) current elimination procedure of this kind of topology is still not clear.

Considering the worst case of the appearance of CM current. The three-wire topology is set as the reference, compared with the filtered three-wire topology, unfiltered and filtered four-wire topology. For the filtered cases, a three-phase common-mode filter (CMMF) was designed. Factor

²from M. Sc. Zhao Zhao, M. Sc. Benjamin Horn and Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

D is defined to represent the deviation of CM current between the reference and other three cases. The theoretical expression of D in each case is given. The simulation model of three- and four-wire topology was created in PSIM, using high-frequency lumped-parameter model to represent power cable and three-phase electric motor (Figure 3.6a). The validation experiment was done on a practical electric-drive system (Figure 3.6b).

In conclusion, using four-wire topology in the electric-drive system can eliminate more CM current than three-wire topology, and the elimination also happens in much lower frequencies. But the installment of CMMF in four-wire topology cannot affect the elimination seriously. These can all be explained by the larger decrease of rise of neutral voltage than phase voltage in a wide range of frequency. These findings are validated by the simulation and experimental measurements (Figure 3.7). Above all, the bulky CMMF may be removed due to the use of four-wire topology and an optimized filter design are expected for it.

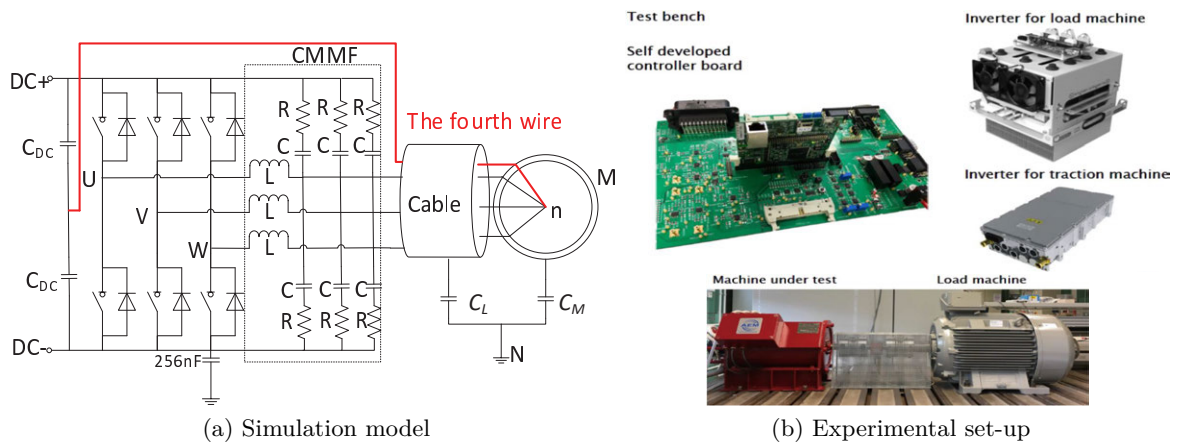


Figure 3.6: Simulation model and experimental set-up for the analysis of the CM current

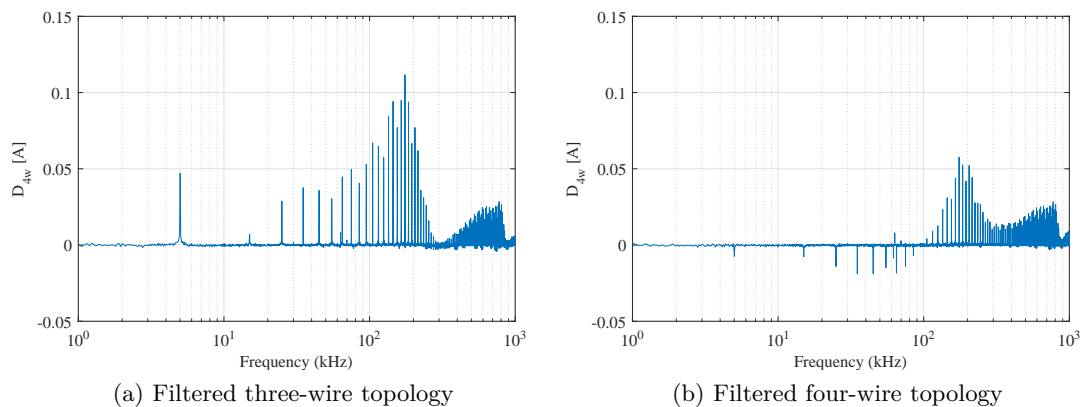


Figure 3.7: Experimental results of the deviation of the CM current in the two cases

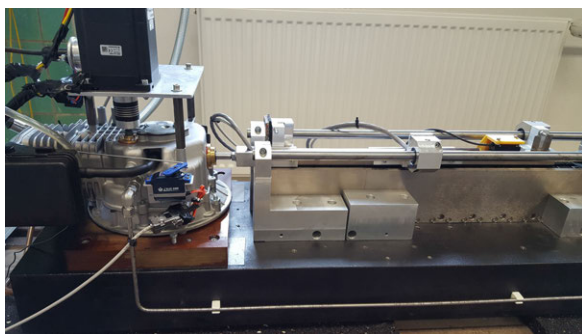
Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16EMO0120K vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



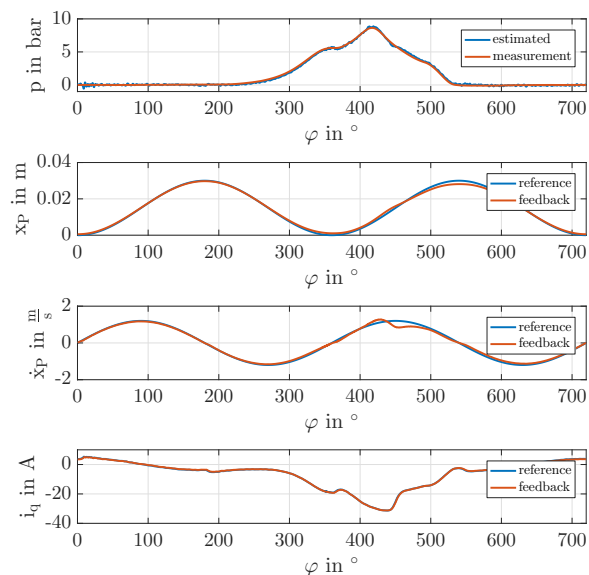
Control of a Directly Driven Four-Stroke Free Piston Engine³

The free piston engine is an internal combustion engine (ICE) without crankshaft. This allows driving an independent trajectory of the piston stroke, which adds a new degree of freedom for the control. This trajectory has to be controlled by using a linear electric machine. Most of the research in free piston engines until now was focused on two-stroke cycles. The present paper focuses on a four-stroke cycle and investigates the particular requirements of the linear machine and its control. Especially in a four-stroke free piston engine it is possible to adjust every stroke trajectory to an optimal one depending on the operating point.

Therefore, a control structure is proposed and validated on a small experimental prototype of the engine. Unlike rotating engines, the directly driven piston provides also the opportunity to estimate the instantaneous pressure of the cylinder without additional sensors, which allows to optimize the ignition point among others. For this, an observer is proposed and validated on the prototype Fig. 3.8a. The experimental results for the estimated cylinder pressure and the controlled trajectory are shown at one operation point in Fig. 3.8b. The starting process of the free piston engine can be watched at <https://www.youtube.com/watch?v=tt7rRM4fXEc>



(a) Prototype of a direct coupled internal combustion engine (ICE) and permanent magnet synchronous motor (PMSM)



(b) Free piston control with an ignition rate of $\omega = 80 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ and a traverse path of $x_{P,\text{peak}} = 0.03 \text{ m}$

Figure 3.8: Control of a directly driven four-stroke free piston engine

Aktoren aus polymer-gebundenen weichmagnetischen Verbundwerkstoffen⁴

Gegenwärtig werden permanenterregte Aktoren, das schließt sowohl Linearaktoren als auch rotierende elektrische Maschinen ein, vorwiegend aus geblechten Ferrolegierungen (Elektroblech) gefertigt. Abhängig vom Anwendungsfall variiert die Zusammensetzung der Legierungen, so setzt man beispielsweise bei massekritischen Anwendungen auf Legierungen, die hohe Sättigungsflussdichten vertragen. Allen Anwendungen gemeinsam ist eine Begrenzung des magnetischen Flusses auf zwei Dimensionen und Restriktionen in der Ausnutzung des Konstruktionsraumes.

³Authors: Dipl.-Ing. Andreas Gerlach, Prof. Dr.-Ing. Hermann Rottengruber and Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

⁴von M. Sc. Sebastian Hieke

Die konventionelle Fertigung elektromechanischer Aktoren jeder Art umfasst Schweißarbeiten, das Stanzen oder Lasern von Blechen, das Packen der Blechpakete, häufig das Einwickeln der stromführenden Leiter in die Nut, sowie eine Vielzahl weiterer Arbeitsschritte, die in der Regel sehr zeitintensiv sind und damit einen großen Posten in der Kostenkalkulation darstellen. Um einen weniger kosten- und zeitintensiven Weg in der Fertigung elektromechanischer Aktoren gehen zu können, sind alternative Materialien/Werkstoffe notwendig, die den Fertigungs- bzw. Produktionsprozess wesentlich vereinfachen und unkonventionelle Aktorgeometrien ermöglichen.

Neue Entwicklungen in der Material- und Werkstofftechnik liefern Grundwerkstoffe wie Polymer-Bonded Soft-Magnetic Composite (PBSMC), aus denen sich Aktoren abseits von konventionellen Werkstoffen wie Elektroblech fertigen lassen. PBSMC bzw. plastik-gebundene Aktoren bieten ein hohes Maß an Freiheitsgraden in der Geometrie des magnetischen Kerns, da dort das Injection Moulding bzw. Spritzgussverfahren zum Einsatz kommt. In Verbindung mit alternativen Aktorgeometrien und dem PBSMC bietet dieses Fertigungsverfahren entscheidende Vorteile hinsichtlich der Herstellungskosten für elektromechanische Aktoren.

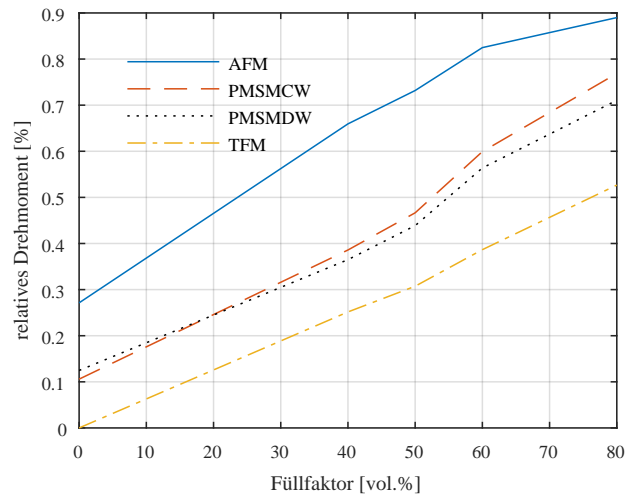


Abbildung 3.9: Das entwickelte relative Drehmoment verschiedener Synchronmaschinen in Abhängigkeit vom Füllfaktor (AFM – Axialflussmaschine; PMSMCW – Synchronmaschine mit konzentrierten Wicklungen; PMSMDW – Synchronmaschine mit verteilten Wicklungen; TFM – Transversalflussmaschine)

Nachteil solcher Werkstoffe im Vergleich zu Elektroblech ist die verringerte relative Permeabilität und magnetische Sättigungsflussdichte, was zu schlechteren Betriebseigenschaften elektrischer Antriebe führt, wenn der magnetische Kreis in konventionellen Maschinen keine Anpassung in der Geometrie erfährt.

Zur Überprüfung der Eignung von PBSMC in elektrischen Maschinen ist eine Studie an verschiedenen permanenten Synchronmaschinen unterschiedlicher Bauart mit Hilfe von numerischen Feldsimulationen durchgeführt wurden. Die Studie zeigt, dass in Abhängigkeit vom Füllgrad, also dem Verhältnis von Eisenpartikeln zu Polymer, und der Bauart unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. In Abbildung 3.9 ist das entwickelte relative Drehmoment (Verhältnis von Drehmoment der untersuchten PBSMC-Konfiguration zu Drehmoment der gleichen Konfiguration vollständig gefertigt aus herkömmlichem Elektroblech) in Abhängigkeit vom Füllgrad dargestellt. Der Stator der Maschinen besteht aus PBSMC und der Rotor aus Elektroblech. Die Axialflussmaschine weist, aufgrund des großen Luftspalts, die geringsten Performanceverluste auf. Dagegen ist die Transversalflussmaschine weniger für den Einsatz von PBSMC geeignet. Die Ursache hierfür liegt in der Magnetkreisgeometrie und stark ansteigenden Streuflüssen mit kleiner werdender relativer Permeabilität des Stators.

Besonders Maschinen mit großem Luftspalt sind geeignet vollständig oder in Teilen aus PBSMC gefertigt zu werden. Denn dort ist der Einfluss des flussführenden Maschinenkerns auf die Gesamtperformance weniger signifikant, als es bei Maschinen mit kleinem Luftspalt (PMSMCW, PMSMDW) der Fall ist.

Forschungsprojekt Fluss-Strom-Plus⁵

Im Rahmen des dreijährigen Forschungsprojektes Wachstumskern Fluss-Strom-Plus wurden am Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme im Teilprojekt Komponentenentwicklung unterschiedliche Komponenten zur grundlastfähigen Energiegewinnung in ökologisch verträglichen Flusswasserkraftanlagen entwickelt. Für unterschiedliche Anlagen, die in anderen Teilprojekten entstanden sind, wurden am Lehrstuhl speziell optimierte langsamlaufende zwei- und dreiphasige Generatoren zur Energieerzeugung entwickelt.



Abbildung 3.10: Wasserrad mit geteiltem Generator auf der Bode in Neugattersleben

Während der Projektlaufzeit vom 01.07.15 bis 30.06.18 wurden im Teilprojekt 5 die im Folgenden aufgeführten Transversalfloss-Generator-Prototypen (TFM) am Lehrstuhl entwickelt und extern gefertigt:

- dreiphasiger TFM-Generator für experimentelle Untersuchungen im Labor
- zweiphasiger geteilter Generator für ein Wasserrad (SIBAU Genthin)
- dreiphasiger TFM-Generator für eine hydrokinetische Turbine (Abbildung 3.11)
- zweiphasiger TFM-Generator für das Horizontalwasserrad H2W (Barthel-Werft)
- zweiphasiger geteilter Generator für ein Wasserrad LE4 (SIBAU Genthin)

Ziel dieses Teilprojektes war es die Defizite verfügbarer Marktlösungen, insbesondere bei Generatoren, Steuerungs-, Lager- und Fernwartungstechnik zu lösen. Gleichzeitig dienen diese Entwicklungen als wichtige Basistechnologien und werden von allen angestrebten Prototypen im Verbundprojekt genutzt.

Im April 2018 wurde in Zusammenarbeit mit der SIBAU GmbH Genthin eine neue und innovative Flusswasserkraftanlage in Neugattersleben auf der Bode errichtet. Diese Anlage besteht aus einem schwimmenden Wasserrad mit einem mechanisch geteilten Generator, der auch gleichzeitig zur Lagerung des Wasserrades dient und mit einer Inselnetzversorgungseinheit gekoppelt ist. In Abbildung 3.10 ist der schwimmende Teil der Anlage dargestellt. Weiterhin wurden Versuchsfahrten auf dem VECTOR Versuchsträger durchgeführt, um den entwickelten TFM-Generator für das Horizontalwasserrad der Schiffswerft Hermann Barthel GmbH zu vermessen.

⁵von Dr.-Ing. Mario Stamann und Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt



Abbildung 3.11: Generator für die hydrokinetische Turbine

	TFM Labormuster	Pollmeier Servomotor 7454
Gewicht	8,8 kg	11 kg
el. Verlustleistung (bei M_N)	4 W	100 W
Nenn Drehmoment (M_N)	10 N m	13 N m
Nenn Drehzahl (n_N)	$20 \frac{1}{\text{min}}$	$3000 \frac{1}{\text{min}}$
Maximaldrehmoment	40 N m	52 N m
Nennleistung (P_N)	21 W	4 kW
Wirkungsgrad (ideal):		
bei $20 \frac{1}{\text{min}}$	84 %	24 %
bei $120 \frac{1}{\text{min}}$	97 %	62 %
bei $3000 \frac{1}{\text{min}}$	99 %	97 %

Tabelle 3.1: Direkter Vergleich TFM Labormuster und Standard Servomotor

Die Notwendigkeit zur Neuentwicklung der langsamlaufenden direktangetriebenen Generatortechnik besteht auf Grund der Tatsache, dass herkömmliche Standardgeneratoren den erforderlichen Drehzahlbereich ($1 \frac{1}{\text{min}}$ bis $20 \frac{1}{\text{min}}$) nicht effizient abdecken und deshalb nur ein schlechter Wirkungsgrad erzielbar ist. Auch der Einsatz von teuren und wartungsbehafteten Getrieben löst diese Problematik nur unzureichend. Abhilfe schafft die direktangetriebene Transversalflussmaschine, die prinzipbedingt für hohe Drehmomente bei geringen Drehzahlen sehr gut geeignet ist. Tabelle 3.1 zeigt den Vergleich der technischen Daten einer Transversalflussmaschine (TFM) als Labormuster mit einer herkömmlichen Servomaschine.

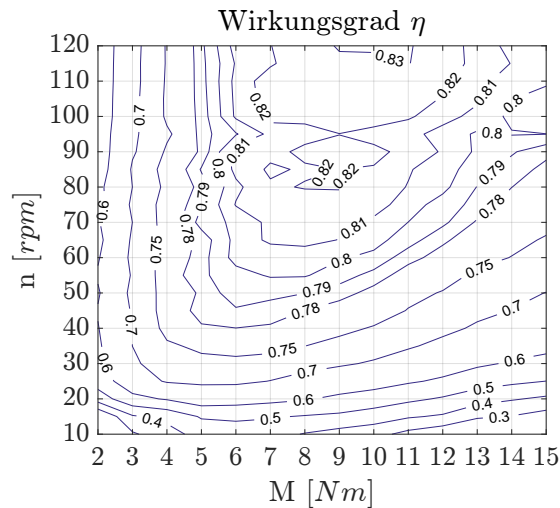


Abbildung 3.12: Experimentell ermittelter Wirkungsgradverlauf des TFM-Labormusters

In Tabelle 3.1 sind technische Daten des TFM-Labormusters und einer Standard-Servomaschine mit vergleichbarer Baugröße und Drehmoment gegenübergestellt. Bei Vernachlässigung der Eisenverluste, die bei Drehzahlen von unter $50 \frac{1}{\text{min}}$ sehr klein sind, kann der ideale berechnete Wirkungsgrad als Vergleichskriterium verwendet werden, um den Wirkungsgradvorteil einer direktangetriebenen TFM zu verdeutlichen. Der experimentell ermittelte Wirkungsgradverlauf in Abbildung 3.12 bestätigt diesen Vorteil der direktangetriebenen Transversalflussmaschine im niedrigen Drehzahlbereich $< 50 \frac{1}{\text{min}}$.

Erfahrungen im Laufe des Projekts haben gezeigt, dass die Leistungsausbeute bei den meisten Kleinwasserkraftanlagen weit unter 500 W liegt. Deshalb ist es für diese Anlagen besonders wichtig, einen möglichst hohen Wirkungsgrad anzustreben, indem die mechanischen Verluste (Getriebe) und elektrischen Verluste (Generator) vermieden bzw. minimiert werden.

3.1.3 Promotionen

Dr.-Ing. Mario Stamann: Magnetisch gelagerte Rundtische in der spanenden Fertigung

Gutachter:

- Prof. Roberto Leidhold, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Walter Schumacher, Technische Universität Braunschweig

verteidigt am 22. Januar 2018 an Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.13)

Die Dissertation behandelt den Themenbereich der magnetisch gelagerten Maschinen. Für die Einschränkung der Bewegung auf einem Freiheitsgrad in rotierenden Maschinen werden in der



Abbildung 3.13: Gratulation an Dr.-Ing. Mario Stamann am Otto-von-Guericke-Denkmal

Regel Wälzlager eingesetzt. Diese sind günstig und zuverlässig, haben jedoch eine geringe Dämpfung und bieten keine Möglichkeit um die Steifigkeit anzupassen. Für besondere Anwendungen, bei denen eine extrem niedrige Reibung erforderlich ist, werden auch Luftlager und Magnetlager verwendet. Da Magnetlager im Prinzip instabile Systeme sind, ist zum Betrieb ein Regelungssystem zwingend erforderlich. Aufgrund dieses Regelungssystems kann grundsätzlich eine unendlich statische Steifigkeit erreicht werden. Des Weiteren ermöglicht dieses System eine Anpassung der statischen und dynamischen Steifigkeit sowie der Dämpfung.

Die meisten bisherigen Veröffentlichungen im Bereich der Magnetlager beziehen sich auf Hochgeschwindigkeitsmaschinen, wie beispielsweise Turbomolekularpumpen, deren wesentliche Aufgabe ist, die durch Rotation bedingten Schwingungen zu dämpfen.

Bei dieser Arbeit werden magnetisch gelagerte Rundtische für die spanende Fertigung in den Fokus genommen, bei denen besondere und wenig untersuchte Probleme auftreten. Darunter finden sich unter anderem die Störwirkung des Werkzeuges, die aufgrund des Werkstückes veränderlichen Parameter und die aufgrund der Baugröße niedrige Steifigkeit des Maschinengerüsts.

Diese Arbeit stellt mehrere Ansätze für die Regelung der Magnetlager, sowohl unter zentralen wie auch dezentralen Reglerstrukturen vor. Da das System inhärent instabil ist, können die Streckenparameter erst nach der Inbetriebnahme der Regelung identifiziert werden. Die Inbetriebnahme setzt allerdings die Kenntnis der Streckenparameter voraus. Daher befasst sich diese Arbeit mit einem Verfahren, das eine erste Inbetriebnahme vereinfachen kann. Ein weiterer wichtiger Beitrag dieser Arbeit ist das Verfahren zur Einstellung der Steifigkeit und der Dämpfung und zwar unabhängig voneinander. Dieses stellt sich somit für den Zerspanprozess als sehr vorteilhaft heraus.

Diese Dissertation präsentiert nicht nur neue Verfahren zur Regelung der magnetisch gelagerten Rundtische, sondern stellt auch eine analytische Untersuchung mit neuen und interessanten Gesichtspunkten dar. Zusätzlich zu den theoretischen Untersuchungen, werden auch Randbedingungen der praktischen Umsetzung untersucht, wodurch diese Arbeit einen nützlichen Beitrag zur industriellen Anwendung leistet.

3.1.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] A. Kiselev, A. Kuznietsov und R. Leidhold, „Performance investigation of generalized predictive position control for a PMSM in view of reference trajectory tracking“, in *2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, IEEE, Feb. 2018. DOI: 10.1109/icit.2018.8352224.
- [2] L. I. Silva, P. M. de la Barrera, R. Leidhold, G. R. Bossio und C. H. de Angelo, „Multi-domain model of faulty stator core for thermal effects and losses evaluation“, *Electric Power Components and Systems*, Jg. 46, Nr. 2, S. 187–196, Jan. 2018. DOI: 10.1080/15325008.2018.1444685.
- [3] M. Otero, P. M. de la Barrera, G. R. Bossio und R. Leidhold, „A strategy for broken bars diagnosis in induction motors drives“, *IEEE Latin America Transactions*, Jg. 16, Nr. 2, S. 322–328, Feb. 2018. DOI: 10.1109/tla.2018.8327382.
- [4] G. Catuogno, L. P. Di Noia, A. Del Pizzo, G. Garcia und R. Leidhold, „Simple and robust fault tolerant control for open-circuit in high speed pm achines“, in *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, IEEE, Juni 2018. DOI: 10.1109/speedam.2018.8445330.
- [5] M. Otero, G. R. Bossio, P. M. de la Barrera, O. Tyshakin und R. Leidhold, „Inter-turn faults detection in induction motor drives using zero-sequence signal injection“, in *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, IEEE, Juni 2018. DOI: 10.1109/speedam.2018.8445411.
- [6] M. Berhanu, Y. Mekonnen, R. Leidhold, M. Mamo, Z. Muluneh und A. Sarwat, „Analysis of a doubly fed induction generator through modeling and simulation“, in *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, IEEE, Juni 2018. DOI: 10.1109/powerafrica.2018.8521094.
- [7] M. Berhanu, R. Leidhold, Z. Muluneh, Y. Mekonnen und A. Sarwat, „Real-time control of a doubly fed induction machine for variable speed constant frequency wind power system through laboratory test rig“, in *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, IEEE, Juni 2018. DOI: 10.1109/powerafrica.2018.8521024.
- [8] A. Gerlach, H. Rottengruber und R. Leidhold, „Control of a directly driven four-stroke free piston engine“, in *IECON 2018, 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, D.C., USA*, 2018.
- [9] A. Gerlach und R. Leidhold, „Comparison of active torque damping methods for a power unit in relation to implementation complexity“, in *IECON 2018, 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, D.C., USA*, 2018.
- [10] S. Benecke, N. Förster, B. Horn und R. Leidhold, „Design and control of a linear reluctance motor for a vacuum diaphragm pump“, in *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, IEEE, Juni 2018. DOI: 10.1109/speedam.2018.8445355.
- [11] N. Förster, A. Gerlach und R. Leidhold, „Improved angle estimation for pm synchronous machines with non sinusoidal saliency“, in *IECON 2018, 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, D.C., USA*, 2018.
- [12] N. Förster, A. Gerlach, R. Leidhold, S. Buryakovskiy, A. Masliy und B. G. Lyubarskiy, „Design of a linear actuator for railway turnouts“, in *IECON 2018, 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, D.C., USA*, 2018.

- [13] Z. Zhao, B. Horn und R. Leidhold, „Investigation of common-mode current elimination in four-wire inverter-fed motor“, in *The 2nd IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (IEEE PEAC 2018)*, 2018.
- [14] S. Hieke und R. Leidhold, „Torque capabilities of permanent magnet synchronous machines made up of polymer-bonded soft magnetic composites“, in *2018 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2018)*, 2018.

3.2 Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

3.2.1 Forschungsprofil

Der Lehrstuhl „Elektrische Netze und Erneuerbare Energie“ hat sich zur Aufgabe gesetzt, technische und ökonomische Prozesse im Elektroenergiesystem weiter zu entwickeln, Optimierungspotentiale zu heben und neue, innovative Methoden der Netzführung, -planung und -nutzung hervorzubringen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem systemischen Gedanken. Das bedeutet, dass der Lehrstuhl neben dem Verständnis der Funktionen und Prozesse einzelner Akteure im Energieversorgungssystem insbesondere die Interaktionen der Player untereinander und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem betrachtet. Dies spiegelt sich auch in den Forschungsschwerpunkten wider:

- Zur Bewältigung der bevorstehenden Herausforderungen ist die Analyse und Optimierung der Interaktion zwischen den Akteuren im Energieversorgungsnetz sowie die geeignete Modellierung des „Interaktionsmediums Stromnetz“ unerlässlich. Durch diese grundlegende Methoden-, Modell- und Verfahrensentwicklung lässt sich das erforderliche, bessere Verständnis der stationären, quasistationären und dynamischen Vorgänge im Gesamtsystem erwerben, aus dem schlussendlich die Ableitung optimierter Konzepte für Netzplanung und -führung erfolgt.
- Der Bedarf an diesen neuen Konzepten ergibt sich u. a. aus der Notwendigkeit, mehr und mehr erneuerbare und dezentrale Erzeuger sowie Speicher sinnvoll in das Gesamtsystem zu integrieren. Hierfür ist es erforderlich, das jeweilige Betriebsverhalten der Anlage, dessen Vor- und Nachteile sowie die sich daraus ergebenden Potentiale und Risiken für das Netz näher zu analysieren. Darauf aufbauend werden am Lehrstuhl Konzepte für eine technisch und ökonomisch sinnvolle Integration dieser Anlagen in neue oder bestehende Prozesse der Netzbetreiber im Rahmen des Energiemanagements entwickelt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hierbei auch auf der Modellierung, der Diagnose und der Integration von Brennstoffzellensystemen.
- Aufgrund ihrer geringen Leistung werden die meisten dieser Anlagen in den unteren Spannungsebenen angeschlossen, die messtechnisch nicht vollständig erfasst sind. Mittlerweile führen die zu transportierenden Energiemengen zu Grenzwertverletzungen, welche aufgrund der fehlenden Information vom Netzbetreiber nicht behoben werden können. Deshalb werden am LENA geeignete Methoden zur Netzzustandsidentifikation entwickelt, die sowohl technische Unschärfe als auch ökonomischen Aufwand berücksichtigen.
- Bei der Modellierung und Optimierung des Elektroenergiesystems spielen das Übertragungsmedium (Freileitung, Kabel, GIL, usw.) und die Übertragungstechnik (Drehstrom, HGÜ, usw.) eine wesentliche Rolle. Aus diesem Grund wird am Lehrstuhl das Betriebsverhalten dieser Technologien im Hinblick auf den Einsatz im Energieversorgungssystem untersucht und verbessert.

3.2.2 Forschungsprojekte

SmartMES – Intelligentes Multi-Energie-System⁶

Im vergangenen Jahr ist an der Otto-von-Guericke-Universität das Forschungsprojekt *SmartMES* (Intelligentes Multi-Energie-System) gestartet. Das Projekt wird vom Landesministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt über Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Innerhalb der nächsten drei

⁶von M. Sc. Nicola Gast

Jahre werden wissenschaftliche Mitarbeiter der Universität in Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, namentlich die ABO Wind AG, das Fraunhofer IFF und die Stadtwerke Burg Energienetze GmbH (SWB), die innerhalb des Projektes als assoziierte Partner agieren, neue Konzepte und Ideen für eine umfangreiche Sektorenkopplung erarbeiten.

Der Hauptfokus im zweiten Projektjahr von *SmartMES* lag auf der Gesamtsystemkopplung, sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Sicht. Aus technischer Sicht gibt es dabei unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen. Beispielsweise ist eine maximale Einspeisung vom elektrischen Netz in das Gasnetz durch den Einsatz von Elektrolyse-/Methanisierungsanlagen genau zu den Zeiten möglich, in denen sich maximale Lastsituationen ergeben. Inwieweit diese Zeiten mit den Belastungssituationen im elektrischen Netz korrelieren und welche Verschiebungspotentiale sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Allgemeinen ergeben, wurden im Rahmen des zweiten Projektjahres analysiert. Neben der Ermittlung zeitlicher Synergien zwischen den jeweiligen Netzebenen ist es darüber hinaus notwendig örtliche Synergien auf Basis der modellierten Referenznetze zu identifizieren, aus denen sich optimale Installationsorte für den Einsatz der Kopplungstechnologien ergeben.

Dabei ist es notwendig neben der technischen Komponente, d. h. die Einhaltung der betrieblichen Grenzen in allen Netzebenen, auch die wirtschaftliche Komponente, d. h. die ortsabhängigen Kosten für die Installation der Kopplungstechnologien für unterschiedliche Stakeholder, zu berücksichtigen. Damit einhergehend gilt es insbesondere zu analysieren, welche Vor- und Nachteile sich durch eine zentrale oder dezentrale Installation der Kopplungstechnologien ergeben. Die Zeitkonstanten der verschiedenen Netzebenen unterscheiden sich deutlich voneinander, d. h. Änderungen im elektrischen Netz breiten sich im Vergleich zum Gas- und Wärmenetz deutlich schneller im gesamten Netz aus, wodurch es notwendig ist frühzeitig auf Fehler zu reagieren. Dies bedingt sowohl die Trägheiten im Gas- und Wärmenetz als auch beim Einsatz der Kopplungstechnologien zu modellieren und bei der Optimierung der Systemauslegung zu berücksichtigen.

Innerhalb des ersten Projektjahres wurden insbesondere aktuelle Rahmenbedingungen, d. h. regulatorische Voraussetzungen sowie Kosten- und Förderstrukturen für den Einsatz der Sektorenkopplung analysiert und in Form von einfachen Fallstudien analysiert. Diese galt es im Verlauf des zweiten Projektjahres in Form einer umfassenden wirtschaftlichen Optimierung zusammenzuführen, um daraus zukünftige Betriebskonzepte für unterschiedliche Stakeholder abzuleiten. Durch die Ausrichtung des Projektes auf die beschriebenen Fragestellungen konnten die unterschiedlichen fachlichen Kompetenzen des Forschungsteams weiter genutzt werden, um sowohl die bereits begonnenen Arbeiten weiterzuführen und zu detaillieren als auch neue Fragestellungen zu beantworten, die für die Ausrichtung der Energieversorgung hin zu einem Multi-Energie-System bedeutend sind.



Abbildung 3.14: Gefördert als Förderprojekt des Landes Sachsen-Anhalt durch den Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE)

Qualitätsmonitoring KWEP-Daten⁷

Für die Gewährleistung des sicheren Betriebs der Höchstspannungsnetze durch die vier Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) besteht mit dem Beschluss BK6-13-200 für Kraftwerksbetreiber

⁷ von M. Sc. Tamara Schröter



Abbildung 3.15: Gruppenfoto des SmartMES-Statusmeetings

seit dem 1. Oktober 2014 die Verpflichtung ihre blockscharfen Planungsdaten an den jeweiligen ÜNB zu übermitteln. Die Daten sind für alle konventionellen Kraftwerke mit einer Leistung von mindestens 10 MW und einem Anschluss an die Hoch- und Höchstspannungsebene day-ahead zu übermitteln und intraday zu aktualisieren. Sie dienen als essenzielle Eingangsparameter für unterschiedliche betriebliche Planungsprozesse (z. B. präventives Engpassmanagement, DACF, IDCF). Daraus folgt, dass die Planungsdaten für die Systemführung von großer Bedeutung sind. In Zukunft wird die Informationspflicht auf die kleineren Kraftwerke in den unterlagerten Netzgebieten ausgeweitet, wodurch die Daten und deren Qualität umso bedeutender werden.

Ziel dieses Projektes war die Qualität eben dieser Daten aus der Kraftwerkseinsatzplanung (KWEP) mittels einer kontinuierlichen, genaueren sowie automatisierten Überwachung zu kontrollieren. Im Rahmen dessen wurde für den Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz Transmission GmbH ein Tool zur Überprüfung und Auswertung der Daten entwickelt, welches die durch den ERRP-Prozess (ENTSO-E Reserve Resource Process Implementation Guide) übermittelten Daten 20 Prüfkriterien unterzieht.

ILEP – Entwicklung einer dynamischen Integrierten Last- und Erzeugungs-Prognose⁸

Seit dem 1. Oktober 2018 arbeitet der Lehrstuhl Lena in enger Zusammenarbeit mit dem Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz Transmission GmbH, der Forschungseinrichtung Fraunhofer IFF und der Siemens AG an dem Projekt ILEP Entwicklung einer dynamischen integrierten Last- und Erzeugungs-Prognose.

Die Veränderungen im deutschen Strommix erfordern neue Konzepte zur Planung und Führung des Energieversorgungssystems. Neben dem nur langsam voranschreitenden Netzausbau sind operative Maßnahmen zur Wahrung der Systemsicherheit verfügbar, allen voran Markteingriffe im Rahmen von § 13 Abs. 1 EnWG (Redispatch) und Einspeisemanagement im Rahmen von § 13 Abs. 2 EnWG. Beide Eingriffe sind mit hohen Kosten verbunden, die im Rahmen der Netznutzungsentgelte bzw. der EEG-Umlage von den Endverbrauchern zu tragen sind. Um die erzeugte Erneuerbare Energie effizient nutzen zu können und die Netzüberlastungen zu reduzieren,

⁸von M. Sc. Tamara Schröter

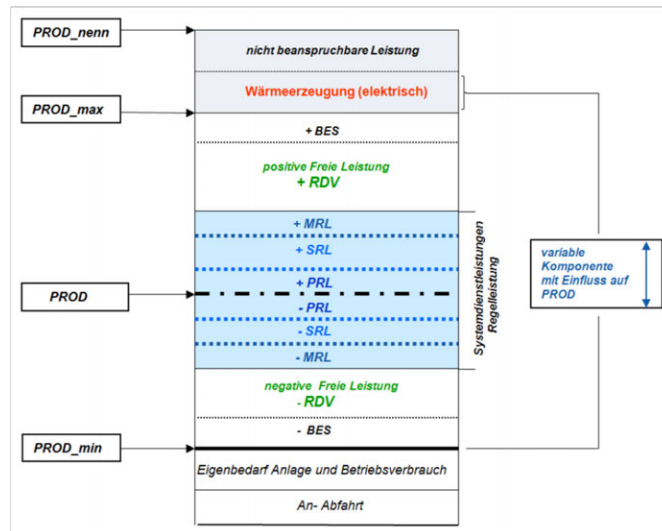


Abbildung 3.16: Umfang und Verhältnis der Kraftwerkseinsatzplanungsdaten einer technischen Ressource

müssen die vorhandenen Flexibilitätsoptionen optimal eingesetzt werden. Dazu ist eine gute Vorhersage unerlässlich. Eine gesamtheitliche Verbesserung der Prognose von Erzeugung und Verbrauch wird die Anzahl systemsichernder Eingriffe und den Regelleistungsbedarf verringern und zu besseren Vermarktungsstrategien und zur Verringerung von Pönalen führen. Das wirkt sich insgesamt positiv auf die vom Endkunden zu zahlenden Netzentgelte aus. Damit ist eine zuverlässige Vorhersage sowohl des Verbrauchs als auch der Erzeugung aus vielerlei Hinsicht eine der Kernaufgaben bei der Integration der Erneuerbaren Energien.

Das Ziel dieses Projektes besteht somit in einer ganzheitlichen Untersuchung, um eine dynamische Kombinationsmethodik für die integrierte Erzeugungs- und Verbrauchsvorhersage zu entwickeln, die bereichsübergreifende Einflussfaktoren berücksichtigt. Dazu wird sowohl die Erzeugung – als auch die Lastprognose weiterentwickelt, als auch deren Korrelation ermittelt.

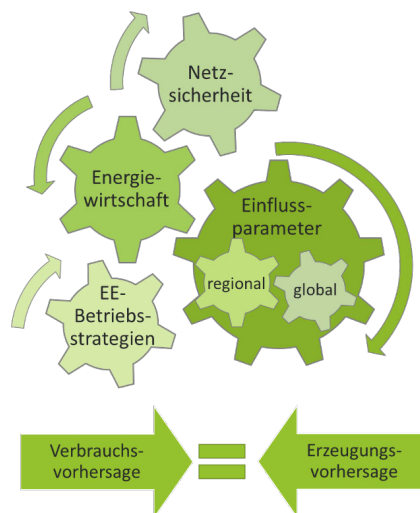


Abbildung 3.17: Durchführung des Projekts ILEP

WindNODE⁹

Die steigende Anzahl an erneuerbaren Energieträgern (RES) stellt das Energiesystem in zunehmendem Maße vor größere Herausforderungen. Ihr fluktuierendes, schwer planbares und nur bedingt steuerbares Einspeiseverhalten wirken sich direkt auf die Qualität und Stabilität der Energiebereitstellung aus. Zudem erschwert die immer stärkere Zerstreuung der Erzeugung eine zentrale Netzführung mit wenigen Anlagen, wie sie bisher durchgeführt wird.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, hat sich ein starkes Konsortium, bestehend aus 50 Verbundpartner und weiteren 30 assoziierten Partnern, im Projekt WindNODE – eines von fünf Schaufensterprojekten des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) – zusammengefunden.

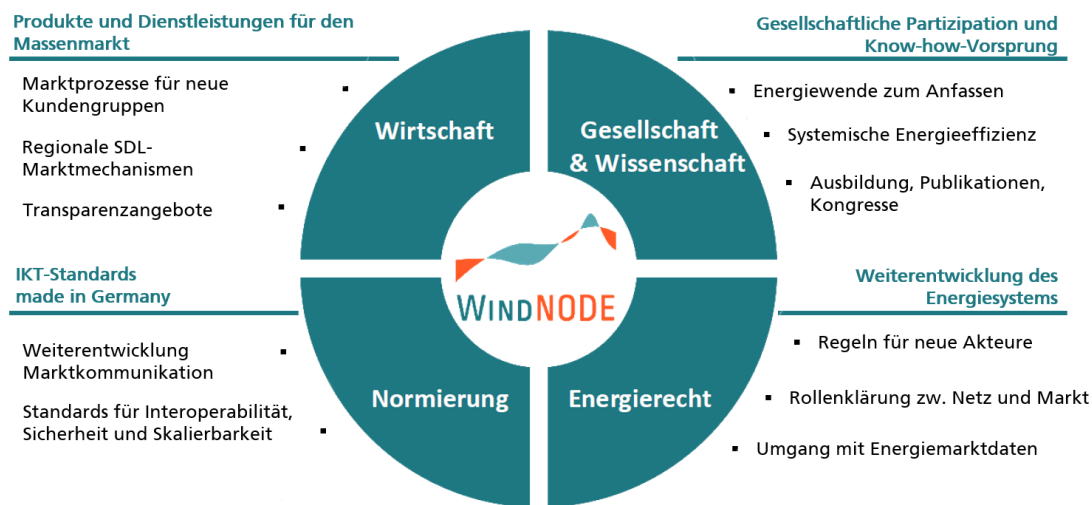


Abbildung 3.18: Struktur *WindNODE*

Am 14./15.03.2018 fand das zweite Konsortialtreffen des Projektes am Chemiestandort Leuna statt. Im Anschluss an die Eröffnung durch Landesumweltministerin Prof. C. Dalbert ergab sich ein intensiver Austausch der beteiligten Projektpartner über die verschiedenen Themenfelder und bisherigen Erkenntnisse. Die ansässige Firma InfraLeuna unterstützt im Rahmen des Projektes die Forschungsaufgaben in Magdeburg und hilft somit bei der Identifizierung Lastverschiebungspotentiale in energieintensiven Industrieunternehmen. Forschungsziel ist es Konzepte und Algorithmen zu entwickeln, die eine Hebung der Flexibilitätspotentiale ermöglichen, ohne die Produktionsprozesse einzuschränken. Ein weiterer Aspekt liegt in der technischen und wirtschaftlichen Beurteilung der Flexibilitätsoptionen sowie der Vermarktungsmöglichkeiten und Geschäftsmodelle.

Special Protection Schemes in Übertragungsnetzen¹⁰

Der Einsatz von Special Protection Schemes (SPS) erlaubt es, im Fall einer Störung die Netz- und Systemsicherheit durch den Einsatz schnell wirkender kurativer Maßnahmen zu wahren. Damit bieten sie den Übertragungsnetzbetreibern insbesondere in der heutigen Situation, die durch eine stetige Dynamisierung des elektrischen Energieversorgungssystems durch den Wegfall rotierender Massen gekennzeichnet ist, viele Vorteile, da die Reaktionszeiten für das Leitwartenpersonal immer kürzer werden.

⁹ von M. Sc. Stephan Balischewski

¹⁰ von M. Sc. Marc Gebhardt

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieses Projektes die verschiedenen SPS-Konzepte und deren Auswirkungen auf die Netz- und Systemführung genauer analysiert. Hierzu wurde im ersten Schritt eine Übersicht darüber aufgestellt werden, wo SPS bereits für welche Anwendungsfälle eingesetzt wurden und welche Erfahrungen Übertragungsnetzbetreiber insbesondere hinsichtlich der zuverlässigen Auslösung der Systeme gemacht haben. Im Anschluss konnte das SPS-Konzept als solches genauer betrachtet werden. Somit wurde ermittelt, aus welchen Komponenten dieses besteht und wie diese untereinander und mit bestehenden Systemen der Netz- und Systemführung interagieren. Im letzten Schritt wurde eine Risikobewertung der Nutzung von SPS-Maßnahmen durchgeführt.

DynaGridCenter – Ausbau herkömmlicher Übertragungsnetzleitwarten zu zukunftssicheren, dynamischen Leitwarten¹¹

Mit der massiven Integration von Erneuerbaren Energien und leistungselektronischen Bauteilen wird die Steuerung und Beobachtung des Übertragungsnetzes zunehmend komplexer. In vielen Nationen werden Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke abgeschaltet und Energie muss von dezentralen Erzeugern über große Distanzen transportiert werden. Das führt im Netz zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Systeminstabilitäten der Frequenz und der Spannung. Um Fehlerfälle zu vermeiden und Betriebsmittel zu schützen, müssen vermehrt Redispatch-Maßnahmen durchgeführt werden, welche zu konstant steigenden Preisen führen. Eine vielversprechende Lösung bieten intelligente Leitwartensysteme und digitalisierte Umspannwerke, welche effektiv und vorausschauend gegenüber Systeminstabilitäten agieren. Viele Funktionen können automatisiert ausgelöst werden.

In Magdeburg wurde als Teil eines solchen intelligenten Systems ein „Real-Time Simulation Center“ aufgebaut. Auf einem Echtzeitsimulator (Abbildung 3.19) wurde ein reduziertes deutsches Übertragungsnetz entwickelt, welches mit zwei Hardware HGÜ-Modellen in einer Hardware-in-the-loop (HIL) Anordnung umfangreiche dynamische Tests ermöglichte. In dem hybriden (AC und DC) Netzmodell entstand weiterhin die Intelligenz für die Umspannwerke und speziell für die Ansteuerung der Konverterstationen. Hochgenaue Messgeräte, wie PMUs und SynDCs, ermöglichen eine detaillierte Beobachtung des Netzes durch die moderne Leitwarte in Ilmenau. Die Anbindung über diese große Distanz erfolgt über konventionelle (IEC 60870-5-104) und hochmoderne Kommunikationsprotokolle (C37.118, IEC 61850).

KoPhaST – Koordinierter Einsatz von Phasenschiebertransformatoren (Vorstudie)¹²

Das starke Ungleichgewicht aus erzeugter und verbrauchter elektrischer Energie führt zu immer größer werdenden Stromtransporten in der Verteil- und Übertragungsnetzebene, die die Übertragungskapazitäten erschöpfen und schlussendlich in Betriebsmittelüberlastungen resultieren. Hohe Wirkleistungstransporte im Übertragungsnetz gehen einher mit dem Auseinanderdriften der Knotenspannungswinkel. Ist ein unterlagertes 110 kV-Netz über mehrere Übergabestellen mit dem stark belasteten Übertragungsnetz verbunden, so erzwingen diese Knotenspannungsdifferenzen einen Transitfluss im Verteilnetz, der dort zu einer zusätzlichen Belastung führen kann. Die derzeit einzige, wirksame Möglichkeit, für den VNB solche Transitflüsse zu begrenzen, ist die Entmaschung seines Netzes bis hin zur Netztrennung. Dies führt allerdings dazu, dass zur Wahrung der Versorgungssicherheit an den einzelnen Übergabestellen zusätzliche Transformatoren benötigt würden.

¹¹ von Jun.-Prof. Dr.-Ing. Ines Hauer

¹² von M. Sc. Marc Gebhardt



Abbildung 3.19: DGCC-Netzsimulator am Standort Magdeburg

Eine weitere Möglichkeit zur Steuerung des Wirkleistungsflusses bietet sich durch den Einsatz von Phasenschiebertransformatoren (PST). Diese können durch Einprägung eines Ringflusses die Belastung einer adjazenten Leitung regeln und proportional zu den Admittanzverhältnissen auf parallele Leitungen verteilen. Wird der PST an geeigneter Stelle platziert (Abbildung 3.20), kann er den zulässigen Transitfluss durch das Verteilnetz so einstellen, dass es zu keiner Überlastung, Entmaschung oder Netztrennung kommen muss. Des Weiteren lassen sich mit dem PST Engpässe in der Verteil- und Übertragungsebene steuern so dass vorhandene Netzkapazitäten noch besser ausgenutzt werden bzw. Engpässe in eine Netzregion verlagert werden, wo sie kostengünstiger und wirksamer durch „klassische“ Netzeingriffe nach §13 (1) EnWG bzw. §13 (2) EnWG geheilt werden können.

In dieser Vorstudie wurde das technische und volkswirtschaftliche Potential eines solchen Phasenschiebertransformators abgeschätzt. Hierzu wurden anhand von realistischen Netz-, Last- und Einspeiseszenarien die Effektivität und Sinnhaftigkeit des PSTs an unterschiedlichen Stellen im Netz analysiert und bewertet.

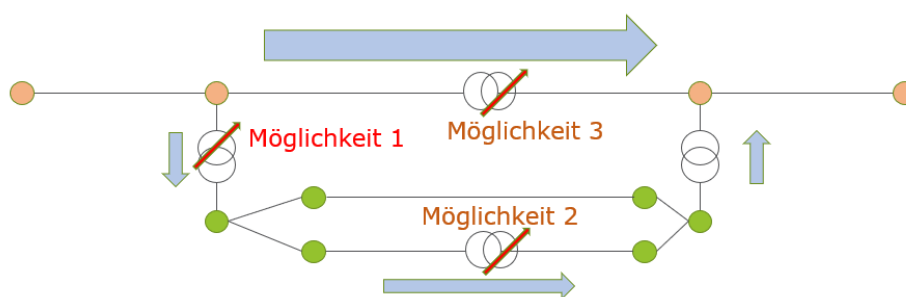


Abbildung 3.20: Schematische Darstellung möglicher PST-Standorte in Verteil- (grün) und Übertragungsnetz (orange)

REGEEES: Regeneratives Elektrisches Energiesystem – Reg-EE-System – 100 %-Integration erneuerbare Energien in 2030¹³

Das Projekt *REGEEES* (Abbildung 3.21) ist eine durch das BMWi, BMU und BMBF geförderte Initiative mit dem Ziel der Entwicklung optimaler Betriebsführungs- und Regelungsstrategien für eine zuverlässige elektrische Energieversorgung Deutschlands, bei einer möglichst 100 %-igen Integration und Nutzung fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien (EE). Innerhalb des Projektes bestehen Arbeitsaufgaben im Bereich der Übertragungs- und Verteilnetze mit einer sowohl horizontalen als auch vertikalen Betriebsführung, mit der Herausforderung eines hohen Anteils Erneuerbarer Energien, die bereits heute einen hohen Einfluss haben.

Mit dem Ziel der 100 %-igen Integration und Nutzung erneuerbarer Energien sind innerhalb des Projektes verschiedene Aspekte zu betrachten. Diese umfassen unter anderem:

- Erschließung der Flexibilitätspotentiale von Kraftwerken für Regelungsprozesse
- Innovative Netzbetriebsführung unter Einbindung aller Netzebenen (horizontale/vertikale Lastflussoptimierung inklusive eines zukünftig möglichen Overlaynetzes)
- Netzübergreifende Nutzung aller verfügbaren Speicher-, Regel- und Flexibilitätspotentiale
- Beitrag erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Leistungs-Frequenzregelung, Spannungshaltung und Blindleistungsbereitstellung) in Form von virtuellen Kraftwerken

Weiterhin werden im Projekt *REGEEES* Ansätze zur koordinierten Netzbetriebsführung und -regelung erarbeitet und demonstriert, die zentrale und dezentrale regelungstechnische Potentiale optimal ausnutzen und auch die Anforderungen des Energiemarktes beachten. Aspekte des heute existierenden Energiemarktes bleiben dabei unberücksichtigt zugunsten einer hier favorisierten „koordinierten Markt-Netzbetriebsführung“.

Die vorgeschlagenen Ansätze sollen Möglichkeiten aufzeigen, wie eine optimale Netzbetriebsführung mit 100 % EE technologisch und energiewirtschaftlich realisiert werden kann. Ein Vergleich der untersuchten Ansätze anhand simulativ gewonnener Ergebnisse ermöglicht eine Bewertung mit Ausweisung der Vor- und Nachteile und der ggf. erforderlichen regulatorischen Anpassungen, um ein kombiniertes Verfahren mit den Vorteilen der Ansätze künftig umsetzen zu können.

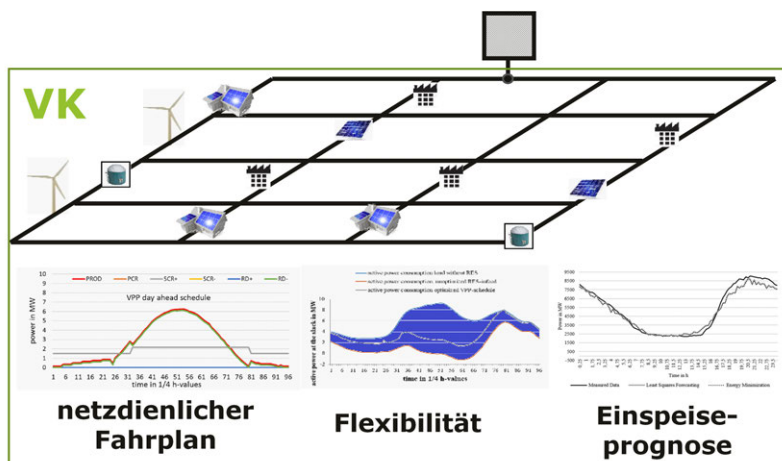
Innerhalb des Projektes hat das LENA die Aufgabe der Untersuchung des Konzeptes Virtuelles Kraftwerk einschließlich der Bearbeitung der Auslegungskriterien für EE-Einspeisung sowie die Untersuchung der Ansätze und Methoden für die Betriebsführung. Dazu müssen Algorithmen für die Prognose der Einspeisung aus Erneuerbaren und für die Prognose von Lasten entwickelt werden. Neben anderen Daten z. B. aus dem Elektrizitätsmarkt bilden diese den Input für ein Optimierungsmodell, das eine optimale Betriebsführung für den normalen und gestörten Systembetrieb bestimmt. Darauf aufbauend werden koordinierte Betriebsstrategien mit der horizontalen und vertikalen Netzführung ermittelt. In den Untersuchungen erfolgt eine Analyse und Bewertung der Zuverlässigkeit im Virtuellen Kraftwerk mit Hilfe geeigneter Methoden.

Netzleitwarte¹⁴

Durch die Energiewende steigen die Herausforderung für die systemverantwortlichen Verteil- und Übertragungsnetzbetreiber. In den Hoch- und Höchstspannungsnetzen steigt die Anzahl an Überlastungssituationen stetig, sodass zur Sicherung der Systemstabilität neue Maßnahmen entwickelt und neue Betriebsmittel (z. B. Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen und

¹³ von M. Sc. André Richter

¹⁴ von M. Sc. Christian Klabunde

Abbildung 3.21: Projekt *REGEES*

Phasenschiebertransformatoren) in das elektrische Netz integriert werden müssen. In der Nieder- und Mittelspannungsebene führt die hohe Anzahl an Kleinerzeugungsanlagen dazu, dass neue Konzepte zur Erhöhung der Beobachtbarkeit und zur Anlagensteuerung entwickelt und umgesetzt werden. Diese und weitere Konzepte, werden auch am LENA entwickelt. Um diese Konzepte bereits im Technikumsmaßstab entwickeln und erproben zu können, wurde am Lehrstuhl ein Netzleitsystem aufgebaut, welches in dieser Form ebenso bei Verteil- und Übertragungsnetzbetreibern eingesetzt wird.

Dieses System wurde im Januar 2018 gemeinsam mit dem Rektor der OVGU, Vertretern der unterschiedlichen Landesministerien und weiteren geladenen Gästen feierlich eröffnet (Abbildung 3.22) indem ein typisches Beispielszenario – eine Windfront in Sachsen-Anhalt – simuliert und mögliche Gegenmaßnahmen – Änderungen in der Netztopologie oder Abregelung von regenerativen Energien – durchgeführt wurden.

Das Besondere an dem entwickelten Leitsystem ist die Kopplung mit der Simulationsumgebung MATLAB auf verschiedene Art und Weise. Zum einen wird in MATLAB die grundlegende Netzsimulation durchgeführt, entsprechende Messdaten generiert und an das Leitsystem gesendet. Über dieses werden die übermittelten Daten visualisiert und bereits unterschiedliche Berechnungen zur Abschätzung der Systemsicherheit durchgeführt. Darüber hinaus ist es möglich mit Hilfe von MATLAB direkt auf die Berechnungsergebnisse des Leitsystems zuzugreifen und mit Hilfe dieser Informationen Vorschläge für sinnvolle Gegenmaßnahmen zu generieren oder einen teilautomatisierten Betrieb des Netzleitstandes zu ermöglichen. Innerhalb des letzten Jahres wurden zum einen diese Schnittstellen erweitert und zum anderen weitere Netzdaten in das Leitsystem integriert, um den vorhandenen Szenarienpool stetig zu vergrößern.

Darüber hinaus wird weiterhin daran gearbeitet, dass System in die Lehre zu integrieren und so eine praxisnahe Ausbildung der Studierenden zu garantieren. Insbesondere die Vorlesungen „Elektrische Netze 1“ und „Operative Systemführung“ können von der realitätsnahen Abbildung der theoretisch erlernten Methoden sehr stark profitieren.

RE-FLEX – Unitäre reversible PEM-Brennstoffzellen für die flexible Energiespeicherung¹⁵

Das Verbundforschungsvorhaben *RE-FLEX* hat zum Ziel, einen Beitrag zur Sicherung der Versorgungsqualität in einem zukünftigen elektrischen Netz mit einem hohen Anteil erneuerbarer Erzeugungsanlagen zu leisten. Der Fokus des Vorhabens liegt in der Weiterentwicklung und

¹⁵ von M. Sc. Philipp Kühne



Abbildung 3.22: Leitwarteröffnung mit Minister Prof. Dr. Armin Willingmann

Erforschung des Einsatzpotentials von unitären reversiblen PEM-Brennstoffzellen (URFC – engl.: Unitized Regenerative Fuel Cell). Eine PEM-URFC ist ein Energiewandler, welcher die Eigenschaften von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren in einem System kombiniert. Im Erzeugerbetrieb nutzt eine PEM-URFC Wasserstoff und Sauerstoff und generiert elektrische und thermische Energie. Dabei agiert das System vollständig emissionsfrei und liefert als einziges Nebenprodukt Wasser. Im Speicherbetrieb kehrt die URFC die Reaktion um. Unter Zufuhr von elektrischer Energie wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der erzeugte Wasserstoff kann anschließend gespeichert oder in ein Verteilnetz eingespeist werden (Abbildung 3.23).

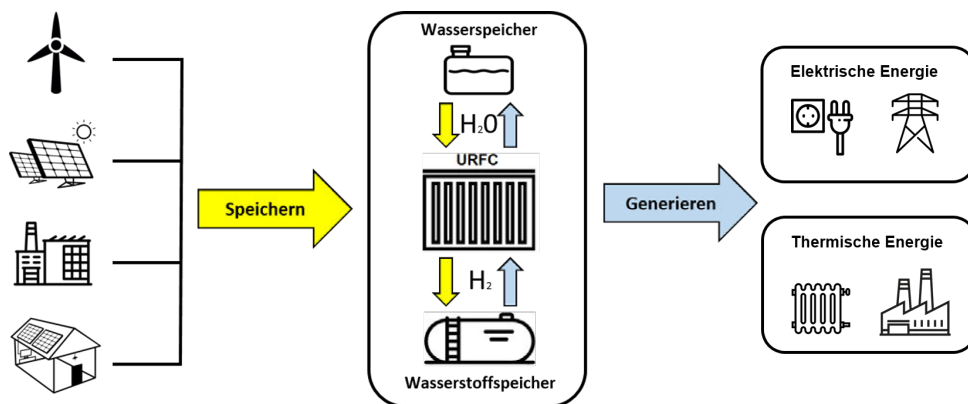


Abbildung 3.23: Funktionsprinzip einer Unitized Regenerative Fuel Cell (URFC) als Zwischenspeicher

Die PEM-URFC benötigt keinen separaten Elektrolysestack zur Wasserstoffgenerierung, sondern nutzt denselben Zellenstack für die Hin- und Rückreaktion, wodurch Material eingespart wird und damit Kosten stark reduziert werden. Weiterhin lassen sich die BOP-Elemente (balance of plant), wie Kühlwasserkreislauf, Sensoren, Regler und Ventile, kombiniert nutzen. Dadurch werden Kosten für Material sowie für den Steuer- und Wartungsaufwand im Vergleich zu separierten Elektrolyse- und Brennstoffzellensystemen entscheidend verringert.

Ziel des Vorhabens ist der Aufbau eines Demonstrators, welcher die Funktionalität des PEM-URFC-Gesamtsystems auf Grundlage einer neu entwickelten Zellmembran (MEA) innerhalb kontrollierter Laborbedingungen auf mehrzelliger Ebene nachweist. Voraussetzung dafür sind die chemische Stabilität, die energetische Effizienz, die Identifizierung von Degradationseffekten und das Erreichen einer stabilen Betriebsführung. Neben der Synthese eines geträgerten Katalysators

und der Herstellung der MEAs sind dafür ein optimales Zelldesign und eine geeignete Testumgebung zu entwickeln sowie eine umfangreiche Analyse der Betriebscharakteristik durchzuführen. Dabei stehen die Bewertung der Effizienz, die Identifizierung von Alterungseffekten und die Ableitung optimaler Betriebsstrategien im Vordergrund der Untersuchungen. Das Verbundvorhaben *RE-FLEX* wird durch das BMWi für einen Zeitraum von 3 Jahren (Start: 11/2018) gefördert.

3.2.3 Promotionen

Dr.-Ing. Przemyslaw Trojan: Agent-Based Provision of System Services

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dr. habil. inz. Waldemar Rebizant, Technische Universität Breslau

verteidigt am 11. Dezember 2018 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Die zunehmende Komplexität von Stromversorgungssystemen stellt besondere Anforderungen an Managementprozesse, die ausgeführt werden müssen, um einen stabilen und effizienten Systembetrieb aufrechtzuerhalten. Die große Menge an zu verarbeitenden Daten bringt große Herausforderungen für die Rechenprozesse in zentralen Einheiten des Systems mit sich. Dezentrale Systeme hingegen bieten die Möglichkeit der Aufgabenverteilung auf verteilte Systeme und reduzierten Rechenaufwand für zentrale Einheiten. Eine Form dieser dezentral organisierten Systeme, in dem Akteure ihre eigenen Ziele selbst modellieren und zur Erreichung gemeinsamer Ziele interagieren können, sind Multi-Agenten-Systeme, die in dieser Dissertation zur Modellierung von Steuerungsprozessen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen vorgeschlagen werden. Der Darstellung von Multi-Agenten-Systemen einschließlich deren Funktionsprinzip, Design-Aspekten und Randbedingungen, die in dieser Dissertation angenommen werden, geht eine grundlegende Darstellung über die Steuerung in Stromversorgungssystemen wie Spannungsregelung, Engpassmanagement und Netzwiederherstellung voraus.

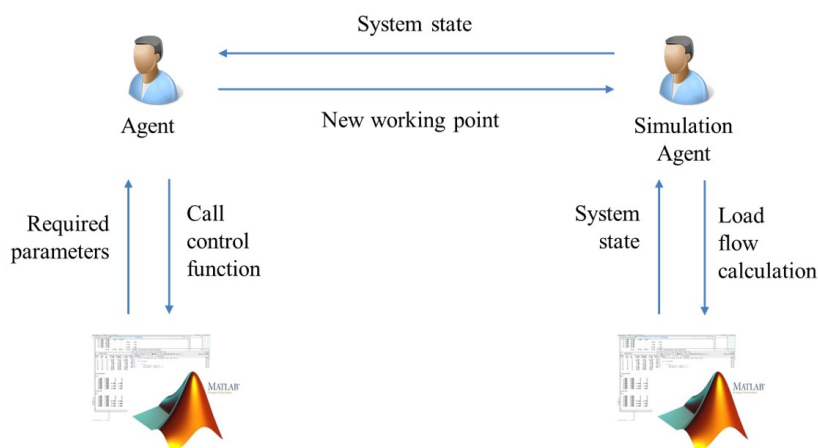


Abbildung 3.24: Allgemeines System für den Informationsaustausch

Der Kern der Arbeit besteht in der Modellierung von Beziehungen zwischen Agenten und deren Interaktionen in verschiedenen Systemmanagementprozessen. Innerhalb des ersten betrachteten Systems, in dem die Erkennung von kritischen Systemzuständen basierend auf Ergebnissen von Lastflussberechnungen durchgeführt wird, wird das Verfahren zur Spannungshaltung nachgebildet. Die Kooperation und Interaktionen zwischen den Agenten zielen darauf ab, Abhilfemaßnahmen

bei Verletzung von Spannungsbändern durchzuführen und neue Sollwerte mithilfe der Jacobi-Matrix-Methode zu berechnen. Bei der Darstellung der Problematik eines agentenbasierten Engpassmanagements wird der Ansatz verfolgt, neue Sollwerte basierend auf der Power-Flow-Decomposition-Methode zu berechnen. Darüber hinaus wird mit der Einführung der neuen Merit-Order, welche Erzeugungskosten und Sensitivitätsfaktoren verbindet, die Möglichkeit geschaffen, den Redispatch, sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht effizient zu gestalten.

Der letzte innerhalb dieser Dissertation betrachtete Aspekt ist der agentenbasierte Versorgungswiederaufbau. In der vorgeschlagenen Strategie wird eine Methodik eingesetzt, die auf dem Dijkstra-Algorithmus basiert und den kürzesten Weg des Wiederaufbaus bestimmt. Die innerhalb dieses Algorithmus erforderlichen Gewichte zur Bestimmung des kürzesten Weges werden basierend auf der Anzahl der Leitungen angepasst, die in dem Wiederaufbauweg enthalten sind. Je kleiner die Anzahl der Komponenten im Wiederaufbauweg, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieselben Leitungen im nächsten Weg ausgewählt werden. Dies trägt zur Minimierung von Schaltvorgängen bei und ermöglicht es, Wege zu priorisierten und Lasten entsprechend ihrer Position im System zu finden. Das im Rahmen dieser Dissertation dargestellte Vorgehen zeigt die Komplexität und Wichtigkeit einer korrekten Zuordnung von Agentenaufgaben. Die vorgestellten Ansätze zeigen ein Gesamtbeispiel zum dezentralen agentenbasierten Energiemanagement und demonstrieren Systeme zur dezentralen Informationsflussmodellierung.

3.2.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] S. Ansari, E. Glende, M. Wolter, D. Babazadeh und S. Lehnhoff, „Testing IEC 60870-5-104 and C37.118 based Control Center Applications using a Real Time Simulation Platform“, in *2018 Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MEDPOWER)*, Nov. 2018, S. 1–6.
- [2] S. Balischewski, C. Wenge, P. Komarnicki und M. Wolter, „Optimized operation of energy storages for primary control reserve“, in *NEIS 2018 Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems*, Sep. 2018.
- [3] J. Dancker, S. Balischewski und M. Wolter, „Combined Thermo-Electrical Simulation Model for Large-scale Battery Electrical Storage Systems“, in *2018 UPEC 53rd International Universities Power Engineering Conference Glasgow, Scotland*, Sep. 2018.
- [4] J. Dancker, J. Rossberg, E. Tsotsas und M. Wolter, „Increasing self-sufficiency in a micro grid integrated vs. non-integrated energy system approach“, in *53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Glasgow, Schottland, Sep. 2018.
- [5] N. Gast, A. Richter und M. Wolter, „Security-constrained optimization of power plant dispatch in interconnected networks with several market areas and price zones“, in *Power and Energy Student Summit 2018*, Juli 2018, S. 1–6.
- [6] E. Glende, M. Wolter, A. Bartlomiej, P. Lombardi und K. Przemyslaw, „Optimal operational management methods of voltage control with a high feed of renewable energy sources“, in *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, Juni 2018, S. 1–6. DOI: 10.1109/ENERGYCON.2018.8398818.
- [7] E. Glende, P. Trojan, I. Hauer, A. Naumann, C. Brosinsky, M. Wolter und D. Westermann, „Communication Infrastructure for Dynamic Grid Control Center with a Hardware-in-the-Loop Model“, in *2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT Europe)*, Okt. 2018, S. 1–6.

- [8] E. Glende, M. Gebhardt und M. Wolter, „Integration of HVDC systems in a highly meshed dynamic AC grid with a real-time software and hardware model“, in *2018 International Scientific Conference Simulation (Simulation)*, Sep. 2018, S. 40–43.
- [9] P. Lombardi, S. Balischewski, C. Wenge und P. Komarnicki, „Collected experiences from the Fraunhofer Institute IFF’s Smart Grid Laboratory“, in *2018 AEIT International Annual Conference Bari, Italy*, Okt. 2018.
- [10] A. Richter und M. Wolter, „Under-frequency load shedding in the European interconnection system: A multi-country model for UFLS analyzation under the impact of renewables“, in *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, Juni 2018, S. 1–6. DOI: 10.1109/ENERGYCON.2018.8398796.
- [11] A. Richter, I. Hauer und M. Wolter, „Algorithms for Technical Integration of Virtual Power Plants into German System Operation Electricity Market“, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, Jg. 3, Nr. 1, S. 135–147, 2018. DOI: 10.25046/aj030117.
- [12] T. Schröter, A. Richter und M. Wolter, „Development of methods for an optimized infeed forecast of renewable energies“, in *2018 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Juni 2018, S. 1–6. DOI: 10.1109/pmaps.2018.8440472.
- [13] M. Tayyab, I. Hauer, C. Klabunde und M. Wolter, „Optimal storage design and operation in a new settlement area under consideration of sector coupling and renewable energy generation“, in *53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Glasgow, Schottland, Sep. 2018.
- [14] M. Mauro Dos Santos Ortiz, D. Pinheiro Bernardon, M. Wolter, E. R. Da Silva, L. Lopes Pfitscher und W. S. Hokama, „Analysis of the Technical Feasibility of Network Parallelism for Load Transfers in Contingency Situations“, in *IEEE PES T&D Latin America*, Sep. 2018, S. 1–6.
- [15] M. Wolter, „Intelligentes Multi-Energie-System SmartMES – ein Projektbericht“, in *DVGW energie | wasser-praxis (Heft 12/2018)*, Sep. 2018, S. 1–6.
- [16] C. Ziegler, A. Richter, I. Hauer und M. Wolter, „Technical Integration of Virtual Power Plants enhanced by Energy Storages into German System Operation with regard to Following the Schedule in Intra-Day“, in *53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Sep. 2018.

Dissertationen und Bücher

- [1] M. Wolter, F. Beyrau, E. Tsotsas, C. Klabunde, J. Dancker, N. Gast, T. Schröter, F. Schulz, J. Rossberg und A. Richter, „Intelligentes Multi-Energie-System (SmartMES) – Statusbericht der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg zum Verbundprojekt“, in *Intelligentes Multi-Energie-System (SmartMES) – Statusbericht der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg zum Verbundprojekt*, März 2018, S. 1–159.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] J. Dancker, „Kombiniertes thermisches und elektrisches Simulationsmodell für Großbatteriespeicher“, in *ILMA*, Ilmenau, Sep. 2018.
- [2] N. Gast, C. Klabunde und M. Wolter, „Sektorenkopplung – eine echte Alternative im Verteilnetz?“, in *19. Forschungskolloquium*, Jan. 2018, S. 1–6.

- [3] P. Kühne, M. Wenske, M. Heuer und M. Wolter, „Experimentelle Charakterisierung einer reversiblen PEM-Brennstoffzelle als flexibles Energiespeichersystem“, in *REGWA Symposium – Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik*, Nov. 2018, S. 85–101.
- [4] C. Ziegler und M. Wolter, „Transiente Stabilität für das Mehrmaschinenproblem – Stabilitätsbetrachtung mit dem Flächensatz“, in *Dresdener Kreis 2018*, März 2018.

3.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

3.3.1 Forschungsprofil

Vier wesentliche Schwerpunkte werden durch das Forschungsprofil des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) abgedeckt:

- Analyse und Modellierung komplexer Systeme,
- EMV-Messverfahren,
- EMV in der Medizintechnik,
- Netzzrückwirkungen und Power Quality.

Die EMV-Analyse und Modellierung komplexer Systeme beinhaltet insbesondere die Analyse der Ein- und Auskopplung elektromagnetischer Felder in/aus Systeme und Verkabelung, die Modellierung der Verkopplung im System und die Ein- und Auskopplung in/aus Komponenten. Einerseits steht die stochastische Einkopplung in Leitungen im Focus. Stochastische elektromagnetische Felder treten in Modenverwirbelungskammern oder elektrisch großen und geometrisch komplexen Hohlraumresonatoren wie Flugzeugrümpfen auf. Die Analyse der Einkopplung dieser Felder in Leitungen und alternativ die Einkopplung von elektromagnetischen Feldern in stochastische Leitungsstrukturen ist essentiell für die EMV-Analyse komplexer Systeme. Am Lehrstuhl werden die entsprechenden Theorien entwickelt und verifiziert.

Ziel weiterer Arbeiten ist es, EMV-gerechte Systeme kosteneffizient zu entwerfen, d. h. Methoden und Modelle für eine Bearbeitung der EMV in der Konstruktions- und Designphase zur Verfügung zu stellen. Dabei stehen die EMV automatisierter Elektroantriebe und die EMV im Kfz im Focus der Forschungsaktivitäten. Auch interdisziplinäre Aktivitäten, wie z. B. die Fehlerortung in Energieversorgungskabeln können diesem Forschungsschwerpunkt zugeordnet werden.

Der Themenkomplex der EMV-Messverfahren beinhaltet insbesondere die Weiterentwicklung von EMV-Mess- und Prüfverfahren. Insbesondere die Modenverwirbelungskammer (MVK) als alternative Messumgebung wird intensiv erforscht, ebenso der Vergleich von Emissionsmessungen und Störfestigkeitstests zwischen etablierten und alternativen Messumgebungen.

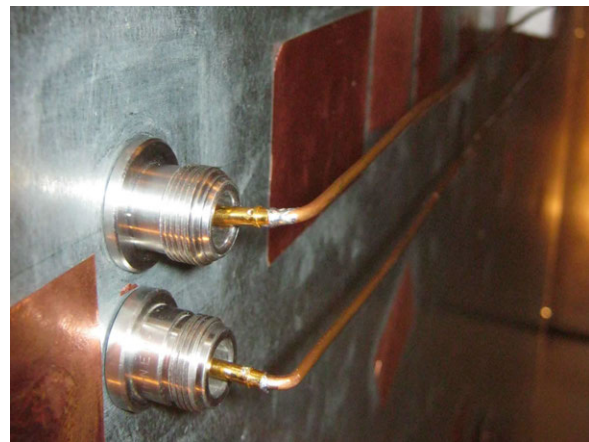
Medizintechnische Geräte erfordern eine besondere Beachtung der EMV, um den zuverlässigen Betrieb in jeder Situation sicherzustellen, woraus sich ein weiterer Forschungsschwerpunkt ableitet. Dabei steht aber nicht nur die EMV von medizintechnischen Produkten im Focus der Arbeiten, auch die Beeinträchtigung von bildgebenden Verfahren in der Diagnostik durch die Rückwirkung von medizinischen Werkzeugen, Implantaten oder Geräten ist Inhalt der Forschungsaktivität. Dabei ist der Lehrstuhl aktiv in den Forschungscampus Medizintechnik eingebunden.

Der vierte Schwerpunkt Netzzrückwirkungen und Power Quality leitet sich aus dem verstärkten Einsatz von leistungselektronischen Betriebsmitteln in elektrischen Versorgungsnetzen ab, da diese Rückwirkungen im elektrischen Energieversorgungsnetz bedingen. Die Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe liegen bei der Analyse und Modellierung des Verhaltens von Oberschwingungen (bis 2 kHz) und Supraharmonischen (2 kHz bis 150 kHz) sowie der Entwicklung geeigneter Maßnahmen zur Sicherstellung der Spannungsqualität im Niederspannungsnetz, z. B. durch den Einsatz geeigneter Filtertechnologien.

3.3.2 Forschungsprojekte

Analyse der Einkopplung statistischer Felder in geknickte und gebogene Leitungsstrukturen¹⁶

Das Projekt dient der Beschreibung der Einkopplung statistischer Felder in verschiedene Leitungsstrukturen. Statistische Felder kommen in Hohlraumresonatoren, wie Autos, Flugzeugen oder auch Modenverwirbelungskammern, als alternative Testumgebung für EMV-Test vor. Die hier untersuchten Leitungen sollen gleichförmig sein, d. h. über ihre Querabmaße konstant. Das entwickelte Simulationsmodell basiert auf der etablierten Beschreibung durch BLT-Gleichungen (nach Baum, Liu und Tesche). Hierbei wurde die Einkopplung nur einer ebenen Welle auf die Anregung durch ein statistisches Feld erweitert. Das Simulationsmodell erlaubt eine schnelle Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter, wie Leitungslänge, Radius, Abstand oder Leitungsabschlüsse. Hierbei wird der in die Leitung eingekoppelte Strom oder die Spannung untersucht. Die Simulationsergebnisse wurden mit Messungen verglichen, die in der großen Modenverwirbelungskammer (MVK) des Lehrstuhls für elektromagnetische Verträglichkeit durchgeführt wurden.

(a) 50 Ω -Abschluss

(b) Mindestabstand zwischen den beiden Anschlüssen

Abbildung 3.25: Untersuchte Leitungen in der MVK

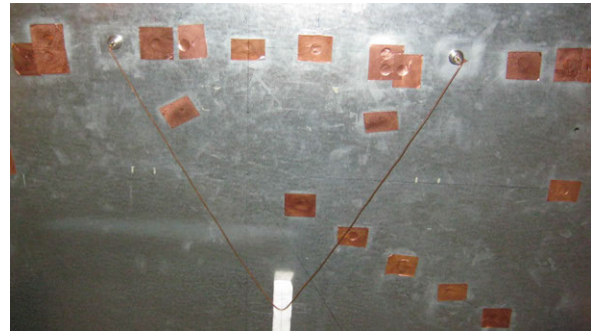
Die untersuchte Leitung bestand aus einem einzelnen Kupferdraht mit einem Querschnitt von 4 mm^2 . Der Radius des Drahtes ist viel kleiner als die Wellenlänge ($r_0 = \lambda/230$ bei 1 GHz). Die N-Buchsen sind mit an das Ende der Leitung gelötet. N-Durchführungen wurden auf der Grundplatte montiert, um die koaxialen Messkabel mit den Enden der Leitung zu verbinden (Abb. 3.25a). Diese stellen gleichzeitig einen 50Ω Abschlusswiderstand dar. Es wurde ein fehlangepasster Leitungsabschluss gewählt, da eine Anpassung über einen weiten Frequenzbereich schwierig zu realisieren ist. Die Höhe der Leitung über der Masseebene betrug $h = 30 \text{ mm}$ und wurde mit kleinen Styroporblöcken konstant gehalten. In den folgenden Messungen wurde die Geometrie der Leitung geändert. Die Leitungslänge von 1 m wurde während aller Messungen konstant gehalten.

Zunächst wurde die gekoppelte Spannung für eine Leitung mit unterschiedlichen Knickwinkeln gemessen. Die Ergebnisse für die normierte eingekoppelte Spannung sind in Abb. 3.28 dargestellt. Die Normierung auf die Feldkammerkonstante E_0 und die Höhe h der Leitung wurde durchgeführt, um eine dimensionslose Größe zu erhalten.

¹⁶ von M. Sc. Johanna Kasper

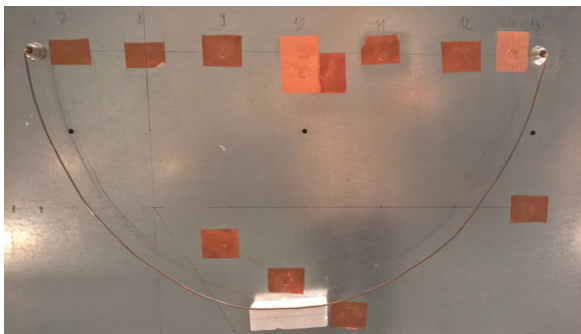


(a) 120° (B-120)

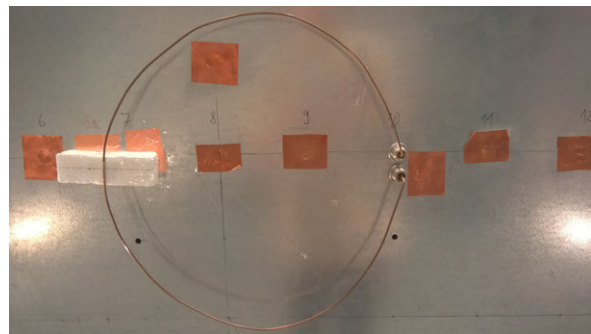


(b) 60° (B-60)

Abbildung 3.26: Darstellung verschiedener Knickwinkel der Leitung



(a) 180° (C-180)



(b) 350° (C-350)

Abbildung 3.27: Unterschiedlich gebogene Leitungen

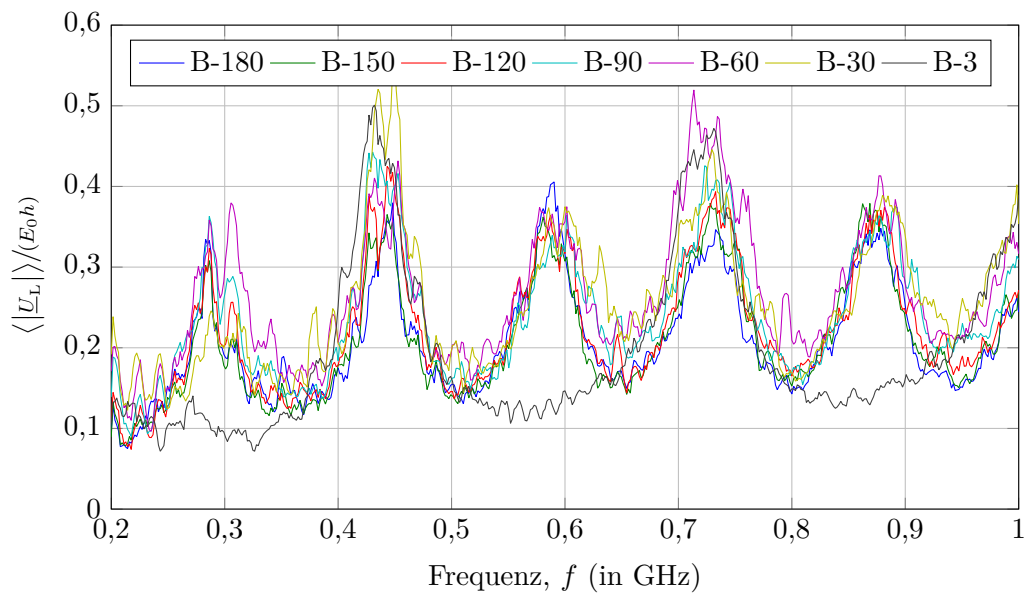


Abbildung 3.28: Betrag der eingekoppelten Spannung am Anfang der geknickten Leitung für verschiedene Knickwinkel der Leitung

Für eine symmetrisch fehlangepasste 100 cm lange Leitung liegen die theoretischen Resonanzfrequenzen bei 300 MHz, 450 MHz, 600 MHz, 750 MHz und 750 MHz ($l = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$). All diese Resonanzen sind für einen Knickwinkel zwischen 180° und 30° zu sehen. Die Leitung mit einem Knickwinkel von 3° verhält sich wie eine 50 cm lange Leitung mit einem offenen Leitungsende. Resonanzfrequenzen sind für die schwarze Kurve (B-3) bei 450 MHz, 750 MHz, 750 MHz und 900 MHz zu sehen. Diese Resonanzen passen zu einer asymmetrischen fehlangepassten Leitung, bei der Resonanzen bei etwa $l = \frac{\lambda}{4}, \frac{3}{4}\lambda, \dots$ zu finden sind. Für einen Knickwinkel von 60° und 30° kann dieser Effekt auch aufgrund der höheren Resonanzen bei 450 MHz, 750 MHz und 900 MHz beobachtet werden.

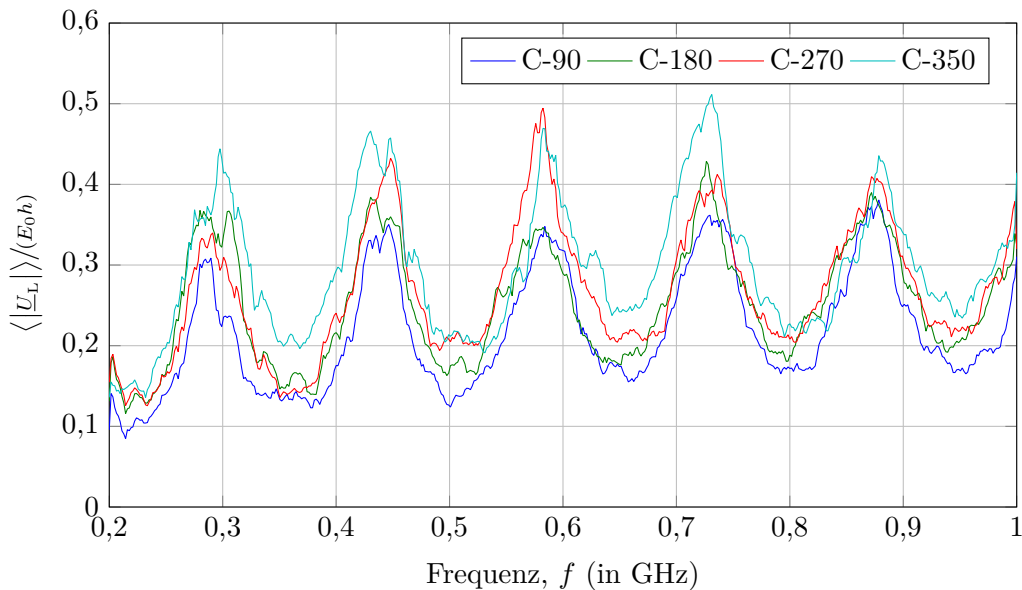


Abbildung 3.29: Mittelwert des Betragsquadrats der eingekoppelten Spannung am Anfang der gebogenen Leitungen über einer Massefläche

Weiterhin sollte nun eine gebogenen Leitung untersucht werden. Abb. 3.29 zeigt die normierte eingekoppelte Spannung am Anfang der gebogenen Leitung für verschiedene Winkel über die Frequenz. Resonanzen treten für alle Kurven bei etwa 300 MHz, 450 MHz, 600 MHz, 750 MHz und 900 MHz auf, was zu den theoretisch ermittelten Resonanzen zu einer symmetrisch fehlangepassten Leitung passt ($l = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$). Vergleicht man die vier Kurven, so zeigt sich, dass in das 90° Kurvensegment (C-90) die kleinste Spannung einkoppelt und in das 350° Kurvensegment (C-350) die größte. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verkleinerung des Radius des Kreissegments mit fester Leitungslänge zu einer höheren Spannung führt. Die höhere Kopplung kann durch Kopplungseffekte verursacht werden, da die Leitung näher zusammenrückt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die geringste Feldeinkopplung in die gerade Leitung erfolgt und dass jedes Knicken oder Biegen der Leitung die Kopplung erhöht.

Mantelwellensperren für die magnetresonanztomografie-geführte Mikrowellenablation¹⁷

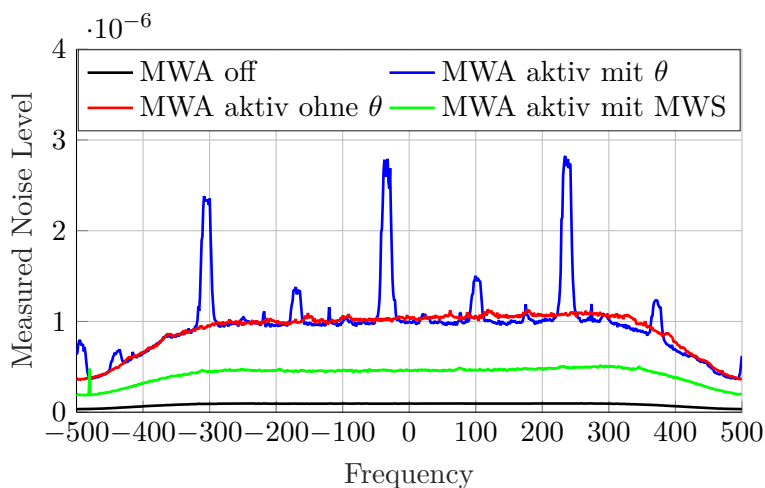
Die Mikrowellenablation (MWA) ist ein minimal-invasiver Ansatz, bei der durch im Körper positionierte Elektroden Mikrowellen in das Gewebe eingestrahlt werden und diese vom Körper absorbiert werden. Die daraus resultierende Wärmeentwicklung ermöglicht die irreversible Zerstörung von Gewebe. Um zu gewährleisten, dass sämtliches krankhaftes Gewebe zerstört wird und aber gesundes Gewebe verschont bleibt, ist es notwendig, diesen hyperthermischen

¹⁷ von M. Sc. Thomas Gerlach

Therapieansatz zu überwachen. Hierfür kann die Magnetresonanztomographie (MRT) mit ihrer Möglichkeit der nicht-invasiven Aufnahme von Temperaturkarten im Gewebe genutzt werden. Eine Voraussetzung für eine zuverlässige Thermometrie ist, dass die gemessenen MR-Signale mit der Frequenz $f = 123,25$ MHz nicht von externen Interferenzen gestört werden.

Rauschmessungen mit dem MR-Gerät in Abbildung 3.30a zeigen, dass beim Betrieb des Ablationsgerätes während der Bildgebung ein größeres Rauschverhalten auftritt, als wenn der Ablationsgenerator ausgeschaltet ist. Es wurden daher „Floating Cable Traps“ auf den langen Zuleitungen angebracht, um Mantelwellen zu dämpfen, welche die MR-Bildgebung stören können (siehe Abbildung 3.30b).

Diese Art der MR-kompatiblen Mantelwellensperren (MWS) besitzt im Vergleich zu anderen nicht-ferromagnetischen MWS, den Vorteil, dass diese ohne ein direktes Anlöten auf dem Schirm des Koaxialkabels angebracht werden können. Rauschmessungen im MRT zeigten, dass mit Nutzung dieser MWS das Rauschen um die Hälfte reduziert werden konnte. In weiteren Arbeiten sollten auch „Floating Cable Traps“ entworfen und gestaltet werden, welche mit an dem Temperatursensor-Kabel angebracht werden können. Den Effekt der Rauschreduzierung mit den MWS für die MR-Thermometrie muss noch evaluiert werden.



(a) Rauschmessungen im MRT (θ = Temperatur-Sensor)



(b) Floating Cable Trap

Abbildung 3.30: Floating Cable Traps und deren Auswirkung auf Rauschmessungen im MRT

Ein Messsetup für die Ablation mit der Larmorfrequenz¹⁸

Der Betrieb von Radiofrequenz (RF)-/ und Mikrowellen (MW)-Ablationsgeneratoren während Messungen mit dem Magnetresonanztomografen (MRT) können zu Interferenzen für die MR-Bildgebung führen. Ein neuartiges Konzept der Ablation vermeidet die Nutzung von externen Ablationsgeneratoren und nutzt dabei aber die im MRT verbaute Leistungsperipherie für die Ablationstherapie.

Mit dem Ablation-MRT-Hybridssystem werden Ablationselektroden an dem Spulenport des MRTs angeschlossen. Durch Nutzung von Bildgebungssequenzen wird eine mittlere Leistung für die Ablation zur Verfügung gestellt, um Gewebe thermisch zu zerstören. Über die Einstellparameter der Bildgebungssequenz können verschiedene Leistungseinträge erreicht werden, welche zu unterschiedlichen Ablationsergebnissen führen können. Aufgrund der Restriktivitäten beim Arbeiten mit dem MRT ist es aufwendig das Verhalten der Ablation mit der Operationsfrequenz des

¹⁸ von M. Sc. Thomas Gerlach

MRTs zu beschreiben. Es wurde daher ein Messaufbau implementiert, um die Ablation mit der Larmorfrequenz unter Beachtung der Einstellmöglichkeiten der Bildgebungssequenz im Labor zu testen.

Über einen externen Rechner konnten die Einstellungen der Pulssequenz festgelegt werden (zum Beispiel: Art der Pulse, Anzahl der Pulse N in einem Pulszug, Länge eines Pulses τ , zeitlicher Abstand der Pulszüge T_R , zeitlicher Abstand der Pulse T_E). Ein RF-Signal mit der Larmorfrequenz ($f = 123$ MHz) wurde mit einem RF-Verstärker verstärkt und die Leistung wurde über eine Elektrode in ein Phantom übertragen.

Exemplarisch sind in Abbildung 3.31a und 3.31b die Ablationen mit einer kontinuierlichen Sinus-Funktion ($\hat{U} = 80$ V, $t_{\text{ges}} = 400$ s) und mit einer gepulsten Sinus-Funktion verglichen ($\hat{U} = 90$ V, $t_{\text{ges}} = 400$ s, $N = 100$, $\tau = 2$ ms, $T_E = 10$ ms, $T_R = 2000$ ms). Es ist erkennbar, dass bei der kontinuierlichen Ablation schwarze Rußbildungen in der Nähe der Elektrode aufgetreten sind. Die Karbonisierung beeinträchtigte die Wärmeleitung. Das Ablationsareal ist im Vergleich zu der gepulsten Ablation kleiner. Durch den gepulsten Betrieb der Ablation bildeten sich in der unmittelbaren Umgebung der Elektrode kleinere Temperaturen, welches zu einer Vermeidung von lokaler Karbonisierung führte.

Es wurde gezeigt, dass das Tastverhältnis der Pulssequenz eine signifikante Auswirkung auf das Ablationsareal hat. Der Messaufbau außerhalb des MRTs ermöglicht eine bessere Untersuchung des nicht-linearen Verhaltens der Ablation. Die Messung der temperaturabhängigen, dielektrischen Eigenschaften des Gewebes für die Ablation mit der Larmorfrequenz sollte erfolgen, um eine numerische Modellierung der Ablation zu ermöglichen.



(a) Ablation im kontinuierlichen Betrieb



(b) Ablation im gepulsten Betrieb

Abbildung 3.31: Vergleich der Ablationsergebnisse im kontinuierlichen und im gepulsten Betrieb. Die Ablationen wurden in Proteinphantomen durchgeführt. Durch die lokale Zerstörung der Proteine ist das Ablationsareal als Trübung erkennbar.

Effiziente Berechnung der Streuung an elektrisch großen Leitern im Freiraum und Resonator¹⁹

In früheren Arbeiten wurde die Streuung externer Felder an elektrisch kleinen Strukturen unter Berücksichtigung der Abstrahlungsbedingungen untersucht. Während Letzteres für Freiraumbedingungen häufig vernachlässigt werden kann, erweist es sich für Untersuchungen in Hohlraumresonatoren als unerlässlich. Es wurden weiterhin Anstrengungen unternommen, um die Einschränkung auf elektrisch kleine Strukturen zu überwinden. Das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren zur Bestimmung der Streuquellen führt basierend auf bekannten Lösungen für das quasi-statische Problem zur einer enormen Zeitersparnis gegenüber üblichen Implementationen

¹⁹ von Dipl.-Phys. Jörg Petzold

der Momentenmethode (MoM), die die volle Greensche Funktion zur Berechnung der Matrix-Elemente nutzen. Außerdem erlaubt das Verfahren eine vergleichsweise einfache Anwendung auf vom Freiraum abweichende Randbedingungen. Die entwickelte Methode des kleinen Streuers (MkS) basiert auf dem Modell eines dünnen und elektrisch langen Drahtes im Freiraum. Anschließend wird auf Basis der vorhergehenden Erkenntnisse der lange Draht im Hohlraumresonator untersucht. Die untersuchten Geometrien sind in den Abb. 3.32 dargestellt.

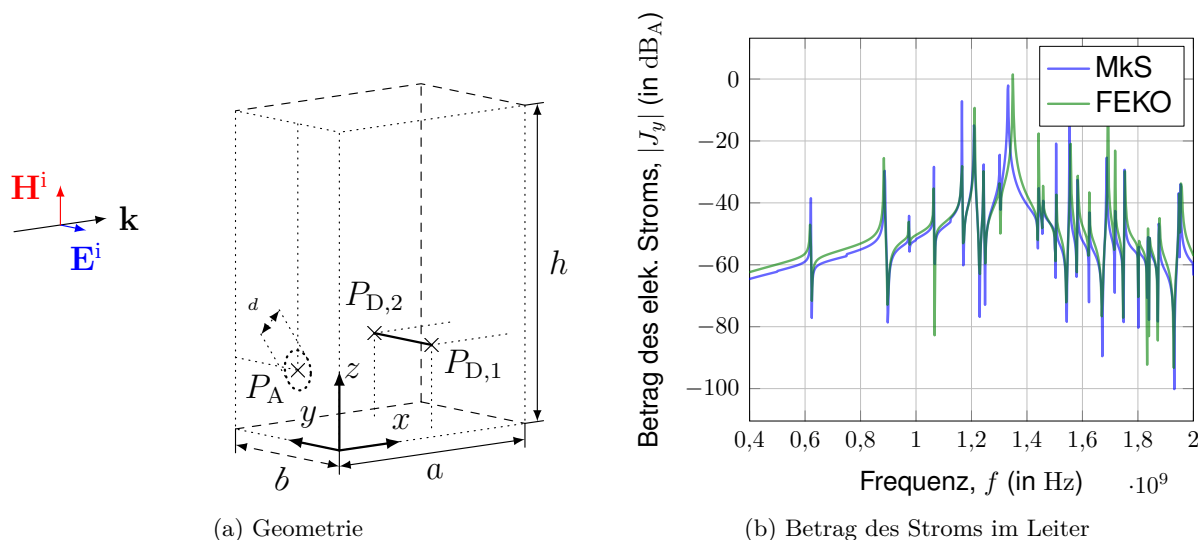


Abbildung 3.32: Geometrie und Ergebnisse der untersuchten Konfigurationen

Ganzheitliche Optimierung energieeffizienter Antriebslösungen für Elektrofahrzeuge (GENIAL)²⁰²¹

Im Rahmen des Verbundprojektes GENIAL wird ein Demonstrator für E-Fahrzeug entworfen. Ein Teilprojekt ist die Aufgabe des Lehrstuhls, EMV-Störaussendungen und die gegenseitige Beeinflussung der Komponenten des Demonstrators auf Systemebene zu identifizieren und zu beseitigen. Zum Erstellen der Modelle für simulative EMV-Untersuchungen wurden Messungen, sowohl die Gleichtakt- und als auch die Gegentaktimpedanz, der Einzelkomponenten durchgeführt. Mit Hilfe verschiedener Methoden, wie Vektorfitting und 3D-Feldsimulationen, wurden Simulationsmodelle, beispielhaft in Abb. 3.33a dargestellt, entworfen, die das Verhalten der Komponenten bei hohen Störfrequenzen nachbilden können.

Es wurden EMV-Modelle für die Traktionsbatterie, den Motor, den Umrichter, Zwischenspeicher sowie für die geschirmten Hochvoltkabel entworfen. Der Aufbau dieser Modelle in Netzwerkprogrammen erlaubt die Simulation auf EMV-Ebene. Damit können EMV-Probleme im Vorfeld identifiziert und beseitigt werden. Die geschirmten Leitungen werden in Elektrofahrzeugen sowie in vielen anderen elektrischen Systemen genutzt, um den Innenleiter vor Störungen zu schützen. Da in der Praxis meist geflochtene Kabelschirme eingesetzt werden, um eine flexible Verlegung der Kabel zu ermöglichen, wirken diese Schirme nicht ideal. Durch die Öffnungen in der Flechtstruktur des Schirms koppeln Felder zwischen äußeren und inneren Gebiet und induzieren so Störungen. Ein Kabelmodell für Netzwerksimulationsprogramme um solche Störszenarien zu simulieren, ist nicht vorhanden.

²⁰ von M. Sc. Moustafa Raya

²¹ von Dipl.-Phys. Jörg Petzold

Es wurde im Rahmen dieses Projektes ein Netzwerkmodell für geschirmte Leitungen basierend auf der Leitungstheorie entworfen, das die Kopplung zwischen der äußeren und inneren Region des Schirmes und vice versa berücksichtigt. Ein Simulationsbeispiel dieses Modells ist in Abb. 3.33c dargestellt. Das geschirmte Kabel bindet in dem Beispiel zwei geschirmte Systeme für eine digitale Übertragung mit der Quelle V_{DIGI} . Durch den Einsatz einer doppelt-exponentiellen Störquelle I_{DS} zwischen dem Schirm und der Masseebene, ist die Störung zwischen dem Innenleiter und dem Schirm zu beobachten. Zur Verifizierung der Ergebnisse wurden numerische Simulationen durchgeführt und sind ebenfalls dargestellt. Abb. 3.33b zeigt die induzierte Störung am Anfang des Kabels zwischen dem Innenleiter und dem Schirm.

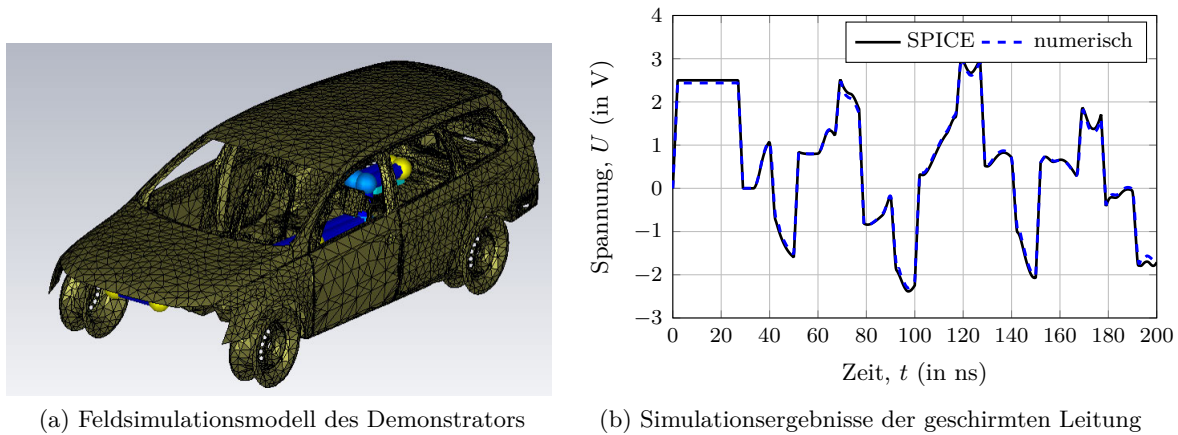


Abbildung 3.33: Simulationsbeispiel der geschirmten Leitung

Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16EMO0120K vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Application of the Singularity Expansion Method (SEM) for Multiconductor Transmission Lines²²

The coupling of high-frequency electromagnetic fields with transmission lines of different nature is one of the main problems of electromagnetic compatibility. Coupling with transmission lines is a special case of interaction of EM fields with scattering objects. For solution of this problem the general Singularity Expansion Method (SEM) was advanced by C. Baum, F. Tesche, D. Giri and other scientists in the early 1970th. The positions of poles of the response function (SEM

²²von M. Sc. F. Middelstädt und Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko

poles) are a unique characteristic of the system and do not depend on the kind of excitation and position of the current measurement point. The SEM expansion defines the response both in frequency and time domain, radiation of the system, its scattering amplitude, etc.

The method was applied for the case of high-frequency coupling with long transmission lines in with the so-called asymptotic approach, where the SEM poles are defined as roots of the resonant denominator containing high frequency reflection coefficients for TEM current waves. In particular, for the thin wire line, these coefficient can be obtained by the iteration solution of the EFIE.

In the present paper we generalized the SEM method for multiconductor lines. The asymptotic approach for the long multiconductor line excited by a plane wave was developed in the literature. In this approach the current near the terminals has a complex structure, containing TEM modes, leaky modes, and radiation modes. However, far from the terminals, in the so called asymptotic region the current has a simple structure: it consists of forward and backward running TEM waves and the solution for the current for the case of infinite wire.

The matrix of coefficients for the TEM waves contains, in particular, the inverse matrix of „resonance denominator“, which, in turn, includes matrices of reflection coefficients of TEM current waves from the left and right terminals and the diagonal matrix of the exponential propagator. The required matrix of reflection coefficient can be found with the iteration approach for the EFIE. Assuming that the determinant of the denominator matrix is an analytic function of the complex frequency, we can find its zeros by one way or another, which yields the SEM poles.

A case of multiconductor open-circuit horizontal line was considered. For such line the elements of reflection coefficient matrix can be obtained in explicit form using the integral exponent function. For the simplest case of two parallel lines with equal height we investigated poles in dependence of distance between the lines. When the distance is essentially larger than the height of the line, the poles do not differ from the single line case, but with small splitting. As the distance between the wires decreases, the splitting increases. When the wires are close to each other, one can observe two sets of SEM poles. One set of poles corresponds to the differential current mode with small imaginary part and the second set of SEM poles corresponds to the common current mode, with large imaginary part (antenna regime).

The results were compared with the one obtained by the NEC code with complex frequency and contour integration in the complex ω -plane and an excellent agreement was found.

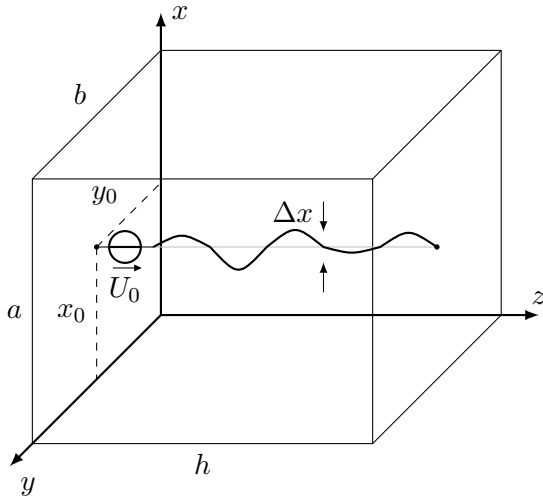
Propagation of Current Waves Along Transmission Lines With Stochastic Geometry in a Rectangular Resonator²³

The propagation of high-frequency current waves through a transmission line with a stochastic geometry inside a rectangular cavity (see Fig. 3.34a) was investigated.

The path of the line along the z -axis is given by the equation $\vec{r}(z) = (x_0 + \Delta x(z), y_0, z)$, where the values x_0 and y_0 corresponds to the parameters of symmetrical line and $\Delta x(z)$ is a random function of the variable z (stochastic process). For the realistic situations the corresponding correlation function can be approximately described by a Lorenz curve (see Fig. 3.35b). The width of the curve is small enough to be approximated by a delta-function with „width“ Δ and the amplitude $\mathcal{D} := \pi\Delta D$ (where D and Δ are parameter of the stochastic process).

The current in the line is excited by the lumped source at the left terminal. The induced current and the potential in the wire can be described by the Mixed Potential Integral Equation (MPIE),

²³von Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko



(a) Line with stochastic geometry inside resonator

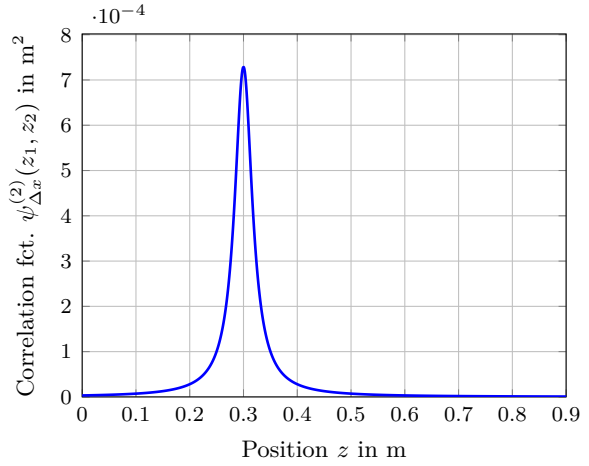
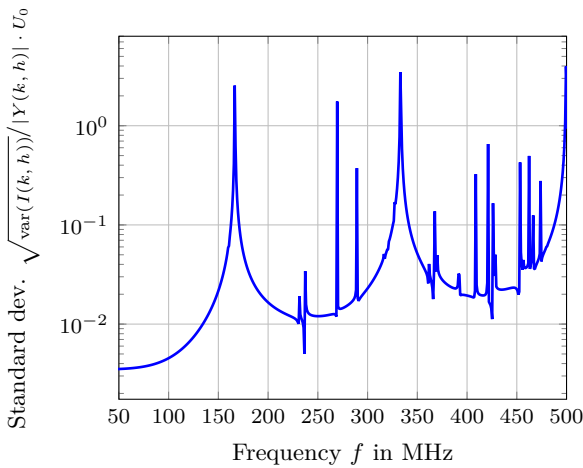
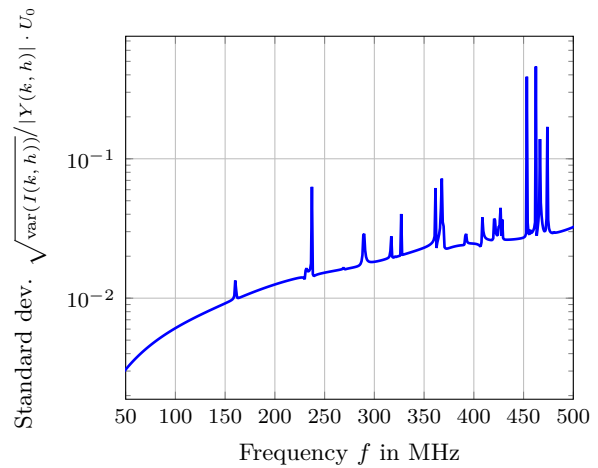

 (b) Two-point correlation function $\psi_{\Delta x}^{(2)}(z_1, z_2)$ with stochastic parameters:
 $D = 7.29 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $\Delta = 1 \text{ cm}$

Figure 3.34: Propagation of current waves along transmission lines with stochastic geometry in a rectangular resonator



(a) short circuited



(b) matched impedances

Figure 3.35: Standard deviation of the current in the right terminal of the line with a stochastic geometry for different loads.

 Parameters of the resonator: $a = 1.5 \text{ m}$, $b = 1.2 \text{ m}$, $h = 0.9 \text{ m}$

 Parameters of the line: $x_0 = 9 \text{ cm}$, $y_0 = 37 \text{ cm}$, $r_0 = 1 \text{ mm}$, $U_0 = 1 \text{ V}$

 Parameters of the correlation function $\psi^{(2)}\Delta x(z_1, z_2)$: $D = 7.29 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $\Delta = 0.02 \text{ m}$

which contains Green's functions of resonator for the scalar and vector potentials, and depends on length of the line l (natural parameter) as an argument. Then it is convenient to consider all values as a function of the horizontal coordinate z . Thereafter, the MPIE can be rewritten by adding terms of the corresponding MPIE for the straight wire to the left and right parts. Assuming that the line is close to the ground with $x_0 \ll \lambda$ and the deviation $\Delta x(z)$ is small and smooth with $|\Delta x(z)| \ll x_0$ and $|x_0 \frac{d\Delta x(z)}{dz}| \ll |\Delta x(z)|$, one can represent the MPIE system for the curved wire as MPIE system for the straight wire, but with additional voltage and current sources, which depend from the unknown current and its derivative.

This representation is an integral equation for unknown current $I(z)$, which can be solved, e.g. by iterations. The zero iteration term is the first term in the solution for the straight wire in resonator. The first iteration for the current can be obtained by substitution of this term into the integral equation. Taking into account the stochastic properties of the function, one can obtain the correlation function of the current $\psi_I^{(2)}(z_1, z_2)$. For the coinciding arguments $z_1 = z_2 = z$ this function is a variance of the current at point z .

Two examples of numerical simulation for this value are presented in Fig. 3.35. We have shown the relation of the standard deviation and absolute value of the current in the point $z = h$, both for the case of short circuited and matched line. From these dependences it can be seen that these functions grow linearly, except for the areas near the resonance, where they have sharp maxima. This is a common phenomenon in the perturbation theory in resonance systems. However, the results of the perturbation theory are valid, if the correction term is much smaller than the zero-order iteration. In the opposite case one has to apply some kind of a moment method - like technique.

Erste Ergebnisse für die gemessene Direktivität von realen Prüflingen aus dem DEBoRA-Projekt²⁴

Im Forschungsprojekt wurden erstmals Direktivitätsmesswerte von realen Prüflingen automatisiert aus Routinemessungen im Rahmen der Marktüberwachung ermittelt (siehe Abbildung 3.36). Solche Messwerte werden in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Umrechnung von feldstärke- in leistungsbasierte Grenzwerte darstellen und damit eine breitere Anwendung von alternativen Testverfahren wie Modenverwirbelungskammern für gestrahlte Störemissionsmessungen ermöglichen. Die zugehörigen Messungen wurden von den Herren Dr. Sisoľefsky, Siebert, Schmidt und Brüsewitz von der Bundesnetzagentur, Messlabor Kolberg aufgenommen. Ursprünglich gestartet wurde das Projekt von Prof. Krauthäuser und André Manicke von der Technischen Universität Dresden.

Nutzung des Konzepts einer Modenverwirbelungskammer zur EMV- und Leseratenoptimierung eines Radio-Frequency-Identification-Tunnelgates²⁵

Dieses Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der Leseratenoptimierung eines RFID-Tunnelgates unter Anwendung des Konzepts einer Modenverwirbelungskammer (MVK). Ziel ist es, alle in einem Paket befindlichen RFID-Transponder in möglichst kurzer Zeit zu erfassen. Die tunnelartige Abschirmung des Lesebereichs dient dabei der Vermeidung von Falsch-Positiv-Lesungen von anderen Transpondern außerhalb des Tunnelgates (siehe Abbildung 3.37). Außerdem werden durch Feldreflexionen und die hohe Güte des vom Tunnel gebildeten Hohlraumresonators kleinere Sendeleistungen am RFID-Lesegerät ermöglicht. Durch die Bewegung des Paketes durch den Tunnel werden homogene und isotrope Feldbedingungen wie in einer MVK erreicht, die den

²⁴ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²⁵ von B. Sc. Sebastian Schwarz, Dipl.-Ing. Martin Kirch und Dr.-Ing. Mathias Magdowski

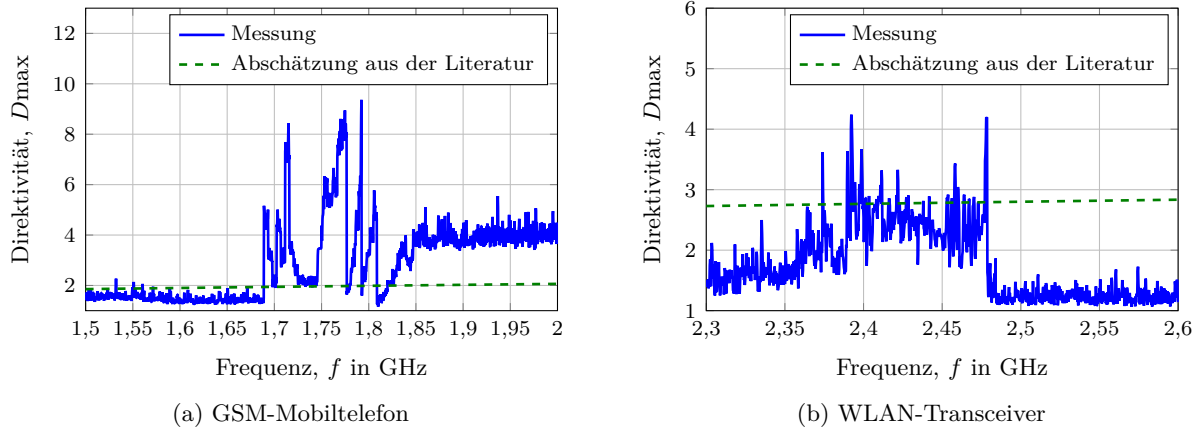


Abbildung 3.36: Gemessene Direktivitäten verglichen mit einer üblichen Abschätzung

Lesevorgang zuverlässiger und nahezu unabhängig von der Transponderausrichtung machen. Die beste Leserate ist unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit, wenn ein Halt im Tunnelgate stattfindet. Sie ist außerdem besser für niedrige Sendeleistungen und lässt sich durch zusätzliche Absorber im Tunnel weiter erhöhen, da Reflexionen gedämpft werden, welche die Kommunikation stören.



(a) Außenansicht

(b) Innenansicht mit Antenne 1 und 2 des Lesegeräts

(c) Innenansicht mit Absorbieren und den Antennen 1, 3 und 4

Abbildung 3.37: Aufbau des Linearförderers und des RFID-Tunnelgates

Einkopplung statistischer elektromagnetischer Felder in Doppelleitungsnetzwerke in einer Modenverwirbelungskammer²⁶

In diesem Forschungsprojekt wurde ein numerisches Modell für die Einkopplung statistischer elektromagnetischer Felder in Doppelleitungsnetzwerke durch Messungen in einer Modenverwirbelungskammer validiert. Dafür wurde ein beispielhaftes Netzwerk aus drei Doppelleitungen im Arbeitsvolumen der Kammer gefertigt (siehe Abbildung 3.38). Verschiedene Anordnungen dieses Netzwerks wurden untersucht und in Bezug auf den Mittelwert und die statistische Verteilung des Betragsquadrats der eingekoppelten Spannung an einem Terminal des Netzwerks ausgewertet.

²⁶ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski, M. Sc. Johanna Kasper, M. Sc. Ildar Zalaliev, M. Sc. Roman Chevtaev, Dr. Evgenii Fedorov und Prof. Andrey Ferenets

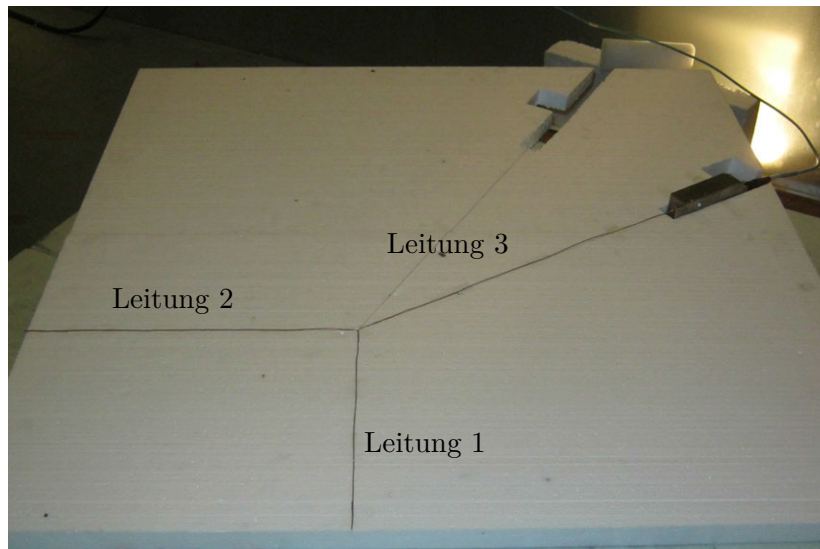


Abbildung 3.38: Doppelleitungsnetzwerk in der Grundkonfiguration. Die erste Leitung (nach vorn) und die zweite Leitung (nach Links) sind leerlaufend. Die dritte Leitung (nach rechts) ist für die Messung mit einem Symmetrierglied abgeschlossen.

Experimentelle Untersuchung der Feldhomogenität und Isotropie in einer Modenverwirbelungskammern mit zwei halbkugelförmigen Diffraktoren²⁷

Im Forschungsprojekt wurde die Verbesserungsmöglichkeit der statistischen räumlichen Feldhomogenität und Isotropie im Arbeitsvolumen einer Modenverwirbelungskammer unter Zuhilfenahme von zwei halbkugelförmigen Diffraktoren untersucht. Diese Halbkugeln bestehen aus Kupfer und haben einen Durchmesser, der ungefähr einem Drittel der Wellenlänge bei der niedrigsten nutzbaren Frequenz entsprechen. Insgesamt wurden vier verschiedene Konfigurationen untersucht:

- kein Diffraktor
- ein Diffraktor an der Wand
- ein Diffraktor am Boden
- zwei Diffraktoren (siehe Abbildung 3.39)

Zentrales Ergebnis der Arbeit ist, dass keine Verbesserungen der Gleichförmigkeit des Feldes festgestellt werden kann.

Nachrüstung einer Schirmkamera und Überprüfung der Störfestigkeit sowie Störemission in einer Modenverwirbelungskammer²⁸

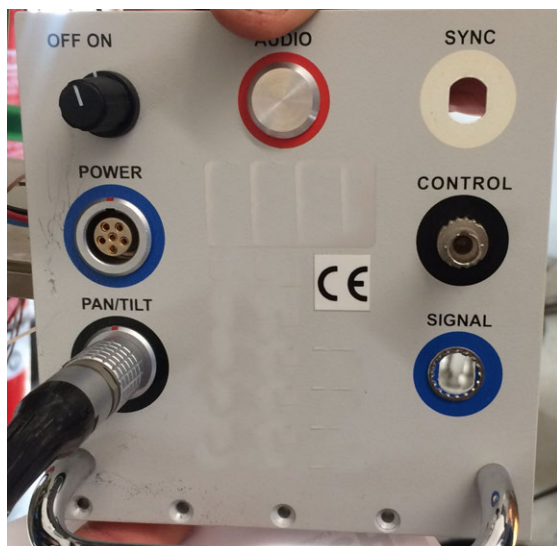
Geschirmte Kameras werden benötigt, um Prüflinge während einer Störfestigkeitsuntersuchung in einer Modenverwirbelungskammer zu überwachen. Die Kamera soll dabei nicht nur eine gute Bildqualität in Echtzeit liefern, sondern muss auch dem elektromagnetischen Feld widerstehen und darf dabei selbst keine Störungen abstrahlen. Im Forschungsprojekt wurde ein vorhandenes Schirmgehäuse mit einer modernen Internetprotokoll-Kamera nachgerüstet (siehe Abbildung 3.40). Der Anschluss erfolgt dabei über zwei Medienwandler und ein faseroptisches Kabel. Die umgerüstete Kamera wurde anschließend in der großen Modenverwirbelungskammer auf Störfestigkeit und -emission untersucht.

²⁷ von M. Sc. Jagadeesh Immidisetti und Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²⁸ von M. Sc. Jagadeesh Immidisetti und Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 3.39: Kupferhalbkugeln als Diffraktoren an der Wand und auf dem Boden der Modenverwirbelungskammer



(a) Altes Anschlussfeld



(b) Neues Anschlussfeld

Abbildung 3.40: Altes und neues Anschlussfeld der umgerüsteten Schirmkamera

Analytische Approximation des Reflexionskoeffizienten eines Drahtes über Masse²⁹

Der Reflexionskoeffizient spielt bei Leitungen eine herausragende Bedeutung. Seine analytische Approximation kann z. B. genutzt werden, um die Anpassung der Abschlüsse rechenunaufwendig zu analysieren. Mit der klassischen Leitungstheorie steht eine leichte Methode zur Verfügung, um genau dieses Problem zu bearbeiten. Die klassische Leitungstheorie ist jedoch nur für gleichförmige Leitungen anwendbar. Außerdem ist die klassische Theorie auf kleine Frequenzen beschränkt, genauer: Die Wellenlänge λ muss viel größer sein als die transversalen Dimensionen der Leitung.

Eine analytische Erweiterung der klassischen Leitungstheorie bietet ein iterativer Ansatz. Die Iteration wird mit der klassischen Lösung initialisiert. Jede weitere Iteration ist Lösung der inhomogenen Telegraphengleichungen. Die entsprechende Anregung ist das tangentielle E-Feld, welches vom vorherigen Strom emittiert wird. Es kann gezeigt werden, dass die klassische Lösung, also die Initialisierung des iterativen Ansatzes, den TEM (transversal elektromagnetischen) Mode repräsentiert. Die erste Iteration stimmt im asymptotischen Verhalten mit dem sogenannten Strahlungsmode überein. Strahlungsverluste werden somit beachtet. Daher wird schon bereits nach der ersten Iteration eine viel genauere Lösung erhalten, als mit der klassischen Lösung.

Die iterative Lösung beachtet außerdem auch die Form der Leitung. D. h. ungleichförmige Leitungen können ebenfalls mit dem Ansatz analytisch untersucht werden. Abb. 3.41 vergleicht die analytischen Lösungen (klassische Lösung $\Gamma^{(0)}$ und erste Iteration $\Gamma^{(0,1)}$) mit einer numerischen Referenz. Die numerische Referenz wurde mit Hilfe der Momentenmethode (MoM) ermittelt. Die Leitung ist parallel zur Masseebene und mit einer Steigleitung abgeschlossen. Am Fußpunkt der Steigleitung befindet sich die Abschlussimpedanz, welche mit der Charakteristischen Impedanz der Leitung übereinstimmt.

In der klassischen Leitungstheorie ist die Last also angepasst und keine Reflexion tritt auf. Unter Berücksichtigung von Hochfrequenzeffekten gilt dieser Zusammenhang jedoch nicht mehr. Die analytische Erweiterung stimmt bis $2\pi h/\lambda \approx \pi$ sehr gut überein. Werden noch weitere Iterationsschritte beachtet, sollte das Ergebnis sogar noch besser werden. In Zukunft wird die Methode für Mehrfachleitungen und Verdrillte Leitungen erweitert.

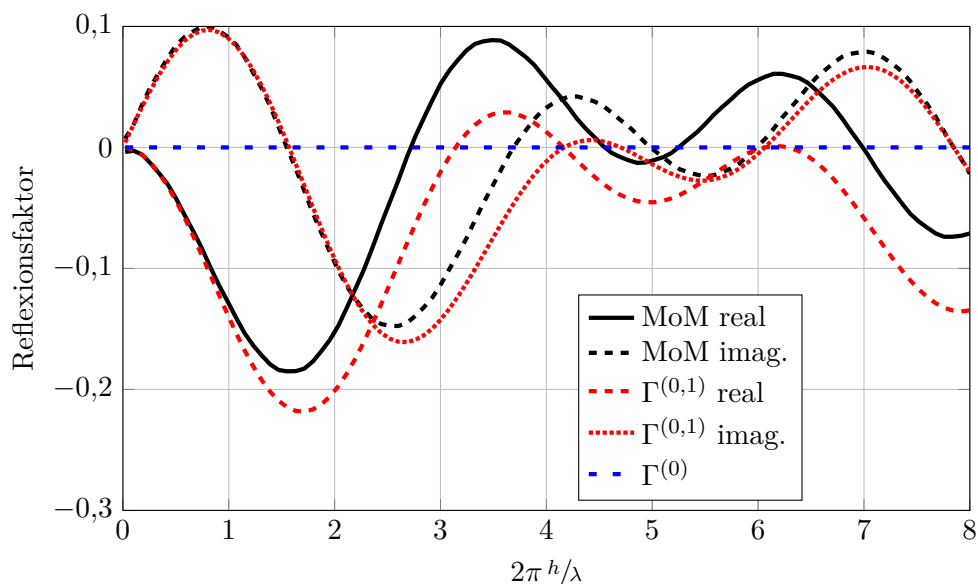


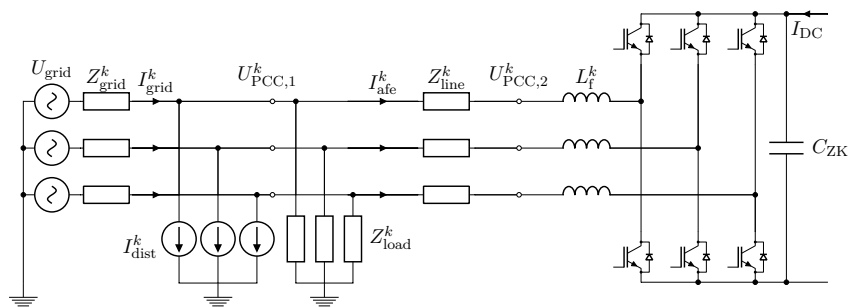
Abbildung 3.41: Reflexionskoeffizient einer „angepassten“ Leitung mit der Höhe $h = 0,5$ m und dem Radius $a = 1$ mm mit Steigleitung

²⁹von M. Sc. Felix Middelstädt

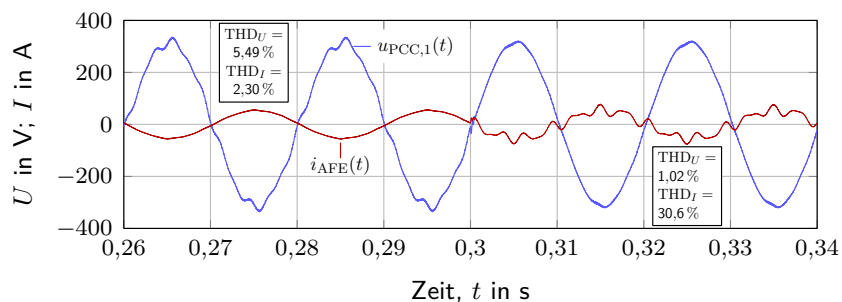
Aktive Oberschwingungsfilterung durch Active Front Ends³⁰

Die zunehmende Durchdringung leistungselektronischer Stellglieder in allen Bereichen der elektrischen Energieversorgung führt zur Zunahme von Oberschwingungsströmen im Netz. Solche ganzzahligen Vielfachen der 50 Hz-Grundschiwingung bewirken an Netzimpedanzen Spannungsabfälle, die die Netzspannung, welche von jedem Verbraucher „gesehen“ wird, verzerrt. Diese kann zu Fehlfunktionen und Schäden an Betriebsmitteln und Endgeräten führen. Bereits etablierte, aktive Oberschwingungsfilter bieten die Möglichkeit, OS-Ströme und -Spannungen bestmöglich zu kompensieren. Der Aufbau eines aktiven Filters zur Stromkompensation gleicht dem Aufbau von bspw. Photovoltaikwechselrichtern oder gesteuerten Gleichrichtern für industrielle Anwendungen oder Ladesäulen für Elektromobilität und wird auch Active Front End (AFE) genannt (siehe Abbildung 3.42a, rechts).

Am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit wird deshalb an einem Verfahren geforscht, dass mit Hilfe von schon im Netz befindlichen AFEs die Spannungsqualität durch eine erweiterte Regelung verbessert wird. Eine solche zusätzliche Netzdienstleistung könnte in PV-Wechselrichter implementiert und vom Anlagenbetreiber gegen Ausgleich angeboten werden. Die Schwierigkeiten dabei sind u. a., dass Ströme, die die Spannungsverzerrung verursachen, nicht direkt gemessen werden können und stattdessen ein Kompensationsstrom aus der Spannung selbst abgeleitet werden muss und, dass eine verzerrte Netzspannung eine stabile und notwendige Synchronisation auf das Netz nahezu unmöglich macht. Mit Hilfe erster Regelungsentwürfe und erweiterten Phasenregelschleifen zur Synchronisation wurde bereits simulativ die Machbarkeit des Vorhabens unter Beweis gestellt, wie Abbildung 3.42 verdeutlichen soll.



(a) Netz mit OS-Verursachern und Active Front End



(b) Spannung und Strom vor- und nach Kompensation

Abbildung 3.42: Prinzipdarstellung der OS-Kompensation durch Spannungsmessung

³⁰ von M. Sc. Benjamin Hoepfner

3.3.3 Promotionen

In diesem Jahr wurden am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit keine Doktoranden promoviert.

3.3.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] J. Kasper und R. Vick, „Modellierung der Einkopplung statistischer Felder in geschirmte Mehrfachleitungen“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 14–21.
- [2] M. Raya, A. Ojo, J. Immidisetti, J. Petzold und R. Vick, „Anwendung von Fitting-Methoden zum Entwurf von Netzwerkmodellen für E-Fahrzeugkomponenten“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 80–87.
- [3] M. Hirte und R. Vick, „Elektrisches Ersatzschaltbild für Lager von Elektromotoren“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 96–102.
- [4] M. Raya, R. Vick und J. Petzold, „Simulationsverfahren zur Bestimmung der HF-Impedanzen von Traktionsbatterien“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 103–109.
- [5] J. Petzold und R. Vick, „Effiziente Berechnung der Streuung an elektrisch großen Leitern im Freiraum und Resonator“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 175–182.
- [6] B. Willmann, D. Cuartielles Ruiz und R. Vick, „Wireless Power Transfer – Stand der Normungsaktivitäten“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 359–367.
- [7] M. Magdowski und R. Vick, „Erste Ergebnisse für die gemessene Direktivität von realen Prüflingen aus dem DEBoRA-Projekt“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 385–392.
- [8] E. Pannicke, M. Magdowski und R. Vick, „Die Modenverwirbelungskammer als alternative Messumgebung für Kompatibilitätstest in der Magnetresonanztomographie“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 401–407.
- [9] B. Hoepfner, R. Vick und A. Fröbel, „Einfluss von Leitungsimpedanzen auf verschiedene Verknüpfungspunktspannungen bei der Kompensation von Oberschwingungen durch Active Front-Ends“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 581–589.

- [10] S. Schwarz, M. Magdowski, R. Vick, M. Kirch und K. Richter, „Nutzung des Konzepts einer Modenverwirbelungskammer zur EMV- und Leseratenoptimierung eines Radio-Frequency-Identification-Tunnelgates“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 600–607.
- [11] M. Al-Hamid, R. Vick und P. Wollmann, „Vergleichende Bewertung verschiedener normativer Störemissionsmessungen an einem Elektrofahrzeug“, in *emv – Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Düsseldorf: mesago Messe Frankfurt Group, Feb. 2018, S. 625–632.
- [12] J. Kasper, M. Magdowski, R. Vick, R. Anamov, M. Gimranov, E. Fedorov und A. Ferenets, „Electromagnetic Field Coupling to Planar and Triangular Multiconductor Transmission Lines in a Reverberation Chamber“, in *Proceedings of the Joint IEEE & Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, IEEE USB Catalog Number: CFP18EMC-USB, Singapur: The Printing House, Inc., Mai 2018, S. 578–583, ISBN: 978-1-5090-5996-6.
- [13] M. Magdowski, R. Vick und M. Obholz, „Analysis of the Galvanic Coupling of DC-Link Capacitors in a High-Voltage Bus of an Electric Car“, in *Proceedings of the Joint IEEE & Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, IEEE USB Catalog Number: CFP18EMC-USB, Singapur: The Printing House, Inc., Mai 2018, S. 315–320, ISBN: 978-1-5090-5996-6.
- [14] S. Schwarz, M. Magdowski, M. Kirch, K. Richter und R. Vick, „Read Rate Optimization of an RFID Tunnel Gate by Using the Concept of an Electromagnetic Reverberation Chamber With Different Q Factors“, in *Smart SysTech*, Dresden: VDE Verlag GmbH - Berlin - Offenbach, Juni 2018, ISBN: 978-3-8007-4694-1.
- [15] V. K. Gonuguntala, A. Fröbel und R. Vick, „Performance Analysis of Finite Control Set Model Predictive Controlled Active Harmonic Filter“, in *18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, Mai 2018, S. 1–6. DOI: 10.1109/ICHQP.2018.8378829.
- [16] J. Immidiseti, M. Magdowski und R. Vick, „Retrofitting a Shielded Camera Enclosure with an Internet Protocol Camera and Testing for Radiated Immunity and Emission in a Reverberation Chamber“, IEEE Part Number CFP1806F-USB, Amsterdam, Niederlande, Aug. 2018, S. 849–854, ISBN: 978-1-4673-9697-4.
- [17] M. Magdowski, J. Kasper, R. Vick, I. Zalaliev, R. Chevtaev, E. Fedorov und A. Ferenets, „Electromagnetic Field Coupling to Transmission Line Networks of Double-Wire Lines in a Reverberation Chamber“, IEEE Part Number CFP1806F-USB, Amsterdam, Niederlande, Aug. 2018, S. 660–665, ISBN: 978-1-4673-9697-4.
- [18] M. Magdowski, J. Immidiseti und R. Vick, „Experimental Analysis of the Field Homogeneity and Isotropy Inside a Reverberation Chamber with Two Hemispherical Diffractors“, IEEE Part Number CFP1806F-USB, Amsterdam, Niederlande, Aug. 2018, S. 683–688, ISBN: 978-1-4673-9697-4.
- [19] J. Kasper, M. Magdowski und R. Vick, „Comparison of the Field-to-Wire Coupling to Bent and Curved Transmission Lines in Reverberation Chambers“, IEEE Part Number CFP1806F-USB, Amsterdam, Niederlande, Aug. 2018, S. 713–718, ISBN: 978-1-4673-9697-4.
- [20] S. V. Tkachenko, J. B. Nitsch, M. Raya und R. Vick, „Propagation of Current Waves along Randomly Located Multiconductor Transmission Lines inside a Rectangular Resonator“, Bd. 2018, 2018, S. 1–12. DOI: 10.1155/2018/4150217.
- [21] S. V. Tkachenko, J. B. Nitsch, M. Raya, R. Rambousky und R. Vick, „Propagation of current waves along a transmission line with randomly located non-uniformities inside a rectangular resonator“, Bd. 16, 2018, S. 195–201. DOI: 10.5194/ars-16-195-2018.

- [22] D. Poljak, F. Grassi, M. Rančić und S. Tkachenko, „Advanced Modeling in Stochastic Computational Electromagnetics“, *Mathematical Problems in Engineering*, S. 2, 2018, Article ID 8010743. DOI: 10.1155/2018/8010743.
- [23] F. Middelstädt, S. V. Tkachenko und R. Vick, „Transmission Line Reflection Coefficient Including High-Frequency Effects“, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Jg. 66, Nr. 8, S. 4115–4122, Aug. 2018, ISSN: 0018-926X. DOI: 10.1109/TAP.2018.2839914.
- [24] D. Poljak, S. Šesnić, K. E. K. Drissi, K. Kerroum und S. Tkachenko, „Time domain generalized telegrapher’s equations for the electromagnetic field coupling to finite-length wires buried in a lossy half-space“, *Electric Power Systems Research*, Jg. 160, S. 199–204, 2018, ISSN: 0378-7796. DOI: 10.1016/j.epsr.2018.02.017. Adresse: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779618300609>.
- [25] S. Tkachenko, J. Nitsch und N. V. Korovkin, „Vlijanje visokofrekventnih elektromagnitnih polj na provoda boljšoga sečenija“, *Električestvo: ežemesjačnyj teoretičeskij i naučno-praktičeskij žurnal*, Nr. 7, S. 4–18, 2018. DOI: 10.24160/0013-5380-2018-7-4-18.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] M. Magdowski, „#digiPH eLecture: Personalisierbare Aufgaben & anonymer Peer Review“, in *Online-Tagung | #digiPH – Hochschule digital.innovativ*, Pädagogische Hochschule Burgenland, Eisenstadt, Österreich: Virtuelle Pädagogische Hochschule, Apr. 2018. Adresse: <http://www.virtuelle-ph.at/veranstaltung/digiph-lecture-personalisierbare-aufgaben-anonymer-peer-review/>.
- [2] —, „#digiPH eLecture | kompakt: QR-Code-Papier zum automatischen Korrekturversand“, in *Online-Tagung | #digiPH – Hochschule digital.innovativ*, Pädagogische Hochschule Burgenland, Eisenstadt, Österreich: Virtuelle Pädagogische Hochschule, Apr. 2018. Adresse: <http://www.virtuelle-ph.at/veranstaltung/digiph-lecture-kompakt-qr-code-papier-zum-automatischen-korrekturversand/>.
- [3] S. V. Tkachenko, „Application of the Singularity Expansion Method (SEM) to Non-Uniform Transmission Lines“, in *Meeting of the Swiss AP/MTT/EMC Section*, Co-sponsored by EMC Laboratory – EPFL, EPFL Lausanne, Switzerland, Room Number: ELD120, Juni 2018. Adresse: <https://events.vtools.ieee.org/m/173467>.
- [4] M. Magdowski, „Wozu braucht man eine 4 m × 6 m × 8 m große Mikrowelle?“, in *Science Slam*, Hörsaal 5, Gebäude 16, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg: Ingenieure ohne Grenzen, Fachschaftsrat der Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik, Mai 2018.
- [5] —, „Wozu braucht man eine 4 m × 6 m × 8 m große Mikrowelle?“, in *Science Slam bei der Fachtagung „Innovationspol Forschungscampus“ – 5 Jahre Förderinitiative „Forschungscampus“*, Kalkscheune, Berlin-Mitte: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Sep. 2018. Adresse: <https://www.forschungscampus.bmbf.de/index.php?index=103>.
- [6] —, „Wozu braucht man eine 4 m × 6 m × 8 m große Mikrowelle?“, in *Science Slam*, Freylinghausen-Saal, Franckesche Stiftungen, Halle: HALternativ e. V., Okt. 2018.
- [7] J. Loviscach und M. Magdowski, „Audience Response durch Zeichnen statt Clickern“, in *Teaching Trends – Die Präsenzhochschule und die Digitale Transformation, Track Technik/Recht – Technik für Studierende*, N. Kleinfeld, Hrsg., Haus der Wissenschaft Braunschweig, Raum Weitblick: Technische Universität Braunschweig und ELAN e. V. Oldenburg, Nov. 2018.
- [8] M. Magdowski, „Grundlagen und Koppelwege der Elektromagnetischen Verträglichkeit“, in *EMV Boot Camp*, LANGER EMV-Technik GmbH, Dresden: IEEE EMC German Chapter, Nov. 2018.

- [9] —, „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer Review sowie QR-Code-Papier zum automatischen Korrekturversand“, in *Workshop zum Tag der Lehre*, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Mai 2018.

Preise

Best EMC Paper Award des „Joint IEEE and Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility“³¹

Die langjährige intensive Forschung der Arbeitsgruppe um Prof. Ralf Vick auf dem Gebiet der Einkopplung von elektromagnetischen Feldern in Leitungen wurde kürzlich mit einem „Best EMC Paper Award“ auf dem „Joint IEEE and Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility“ ausgezeichnet (siehe Abbildung 3.43). Diese Konferenz zählt international zu den wichtigsten Tagungen auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit und fand vom 14.–17. Mai 2018 in Singapur statt. Insgesamt wurden dort etwa 450 Beiträge präsentiert.

Der ausgezeichnete Artikel mit dem Titel „Electromagnetic Field Coupling to Planar and Triangular Multiconductor Transmission Lines in a Reverberation Chamber“ entstand im Rahmen gemeinsamer Forschung mit dem German-Russian Institute of Advanced Technology (GRIAT), einer Kooperation zwischen der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg und der Technischen Tupolev-Universität in Kasan in Russland.

Die Erstautorin Johanna Kasper forscht in Magdeburg am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit, ebenso wie ihr Kollege Dr. Mathias Magdowski. Er führte zusammen mit Marat Gimranov, einem GRIAT-Studenten, die Messungen durch. Ein weiterer GRIAT-Student, Rushan Anamov, lieferte die zugehörigen Simulationsdaten. Weiterhin beteiligt waren die Kasaner Kollegen Dr. Evgenii Fedorov und Prof. Andrey Ferenets sowie der Magdeburger Lehrstuhlinhaber Prof. Ralf Vick.



Abbildung 3.43: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, M. Sc. Johanna Kasper und Dr.-Ing. Mathias Magdowski bei der Preisverleihung des „Best EMC Paper Award“ auf dem „Joint IEEE and Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility“ in Singapur

³¹von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

3.4 Lehrstuhl für Leistungselektronik

3.4.1 Forschungsprofil

Das Forschungsprofil des Lehrstuhls für Leistungselektronik trägt der rasch fortschreitenden Entwicklung in diesem Gebiet der Elektrotechnik Rechnung, die maßgeblich geprägt wird durch die Verfügbarkeit neuer, optimierter Bauelemente einerseits sowie durch gestiegene Anforderungen an verschiedene technische Systeme andererseits, die zweckmäßigerweise unter Einsatz leistungselektronischer Stellglieder realisiert werden. So zählt die Leistungselektronik zu den Schlüsseltechnologien für energieeffiziente elektrische Verbraucher, für die Einspeisung von aus erneuerbaren Quellen erzeugter elektrischer Energie in das aktuelle und zukünftige Netz sowie für die Elektromobilität.

Der enge Zusammenhang von Komponenten- und Systemebene findet am Lehrstuhl für Leistungselektronik bei der Forschung zu leistungselektronischen Schaltungen und Systemen mit neuen Bauelementen Berücksichtigung: Die betrachteten neuen Leistungshalbleiter-Bauelemente umfassen insbesondere weiterentwickelte MOSFETs, IGBTs und Dioden, aber auch Bauelemente aus Halbleitermaterialien mit großem Bandabstand wie SiC oder GaN; darüber hinaus ist die Aufbau- und Verbindungstechnik von nicht zu vernachlässigender Bedeutung, da sie das elektrische und thermische Verhalten sowie die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik mitbestimmt.

Aktuelle Arbeiten beziehen sich hierbei schwerpunktmäßig auf Schaltungen bzw. Systeme, zu denen Antriebsumrichter, Stromversorgungen und auch resonante Umrichter gehören. Zu den zu untersuchenden Aspekten zählen die elektrische Funktionsweise unter Berücksichtigung parasitärer Elemente, die thermische Auslegung, eine geeignete Ansteuerung und Regelung, die Zuverlässigkeit sowie die elektromagnetische Verträglichkeit bzw. Umweltverträglichkeit. Nur ein Verständnis der Wechselwirkung zwischen Bauelement und Schaltung bzw. System erlaubt eine fundierte und anwendungsgerechte Optimierung.

Die hierfür am Lehrstuhl für Leistungselektronik angewandte Methodik ist geprägt durch eine Kombination theoretischer Untersuchungen – wie Berechnung, Modellbildung und Simulation – mit experimentellen Arbeiten – insbesondere an Bauelement, leistungselektronischem System und Prozess. Angesichts des ausgeprägt interdisziplinären Charakters vieler der beschriebenen Arbeiten hat sich eine Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen anderer Lehrstühle, außeruniversitären Instituten sowie industriellen Partnern bestens bewährt. Für die gute Zusammenarbeit und auch die diese oft erst möglich machende Förderung sei allen Partnern an dieser Stelle herzlich gedankt. Einige der im Jahr 2018 bearbeiteten Themen mit Bezug auf leistungselektronische Bauelemente und Systeme werden im folgenden Abschnitt detaillierter erläutert.

3.4.2 Forschungsprojekte

Investigation of an integrated sensor to determine junction temperature of SiC MOSFETs during power cycling tests³²

State of the art and problem SiC power MOSFETs in the voltage range of e. g. 1200 V are promising for the usage in various applications like automotive and renewable energy systems. For qualification of power electronic devices and for system design, power cycling capability with respect to the mission profile is important: Junction temperature swing ΔT_j will influence achievable lifetime with a power of -4.4 up to -5 . Thus, T_j must be measured as accurately as possible. It is state of the art to determine T_j of Si devices by the $V_{CE}(T)$ -method, using

³²von M. Sc. Carsten Kempiaak

the dependence of saturation voltage $V_{CE,sat}$ on temperature at low measurement current. This method however, is not applicable for SiC MOSFETs. Therefore, the $V_{SD}(T)$ -method is usually used, which is basically the $V_{CE}(T)$ -method applied to the inverse body diode of the MOSFET. Since in most applications the MOSFET is mainly used in forward mode, for an application related testing the heating current has to be applied in forward direction, as illustrated in Figure 3.44a.

As the channel has to be opened for load current flow, but closed to determine T_j as a function of the voltage drop across the body diode, the device under test (DUT) has to be switched during power cycling depending on whether heating current or only measurement current is applied. Such time delaying pulse patterns as illustrated in Figure 3.44b do not need to be applied to Si devices when using the state of the art $V_{CE}(T)$ -method.

Further, this approach is only applicable if no SiC Schottky diode is connected anti-parallel to the MOSFET in the power module: The lower knee voltage of the Schottky diode would make it take over most of the measurement current which in turn prohibits the measurement of MOSFET junction temperature.

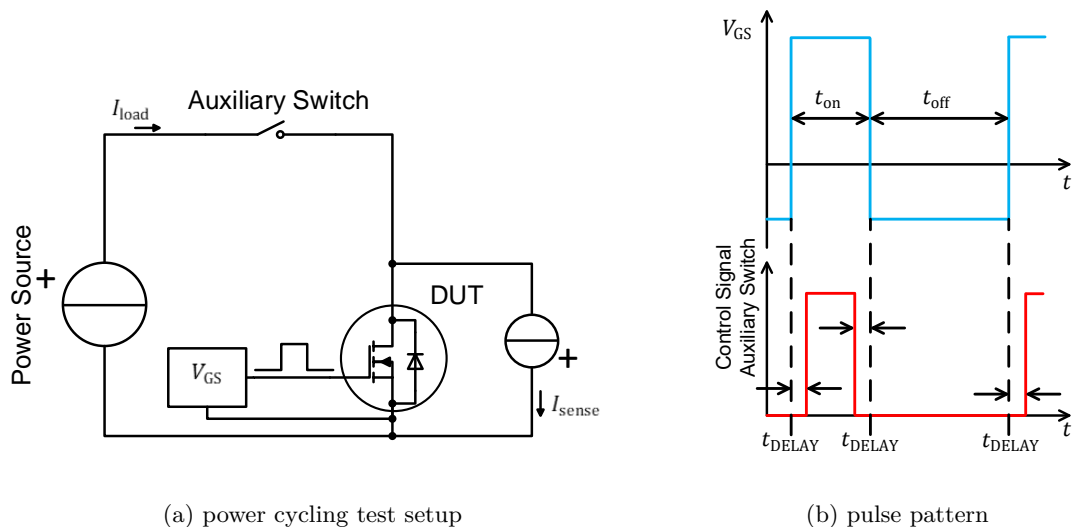


Figure 3.44: $V_{SD}(T)$ -method for junction temperature measurement of SiC MOSFETs during power cycling tests

Methodical considerations The purpose of this work is to overcome these constraints by evaluating the usage of an integrated sensor, consisting of a chain of small diodes directly integrated on the chip surface. It should be taken into account that the $V_{CE}(T)$ -method and the $V_{SD}(T)$ -method are measuring average temperatures. In contrast, the sensor based approach measures a local temperature. Since temperature variations appear on the chip surface during power cycling, the position of the sensor and the heat spreading, which is highly dependent on the conductor structure underneath the chip, will influence the local temperature measurement. To investigate this approach, a SiC MOSFET with an integrated temperature sensor placed on one side of the chip surface and with an anti-parallel Schottky diode serves as DUT.

Results For the power cycling tests, two realistic operating points following the automotive standard LV324 have been defined. In addition to the measurements, 3D FEM simulations have been carried out in order to serve as a reference, in particular considering the temperature

distribution across the chip. For validation, the experimental results obtained by T_j measurements via sensor are compared to the 3D-FEM simulations: As expected, the highest temperature can be observed in the chip centre. As the sensor is placed on one side of the chip, the measured sensor temperature is lower than the calculated area related mean temperature and thus the difference between the measured sensor temperature and the calculated maximum temperature is even higher. However, the deviation between the calculated area related mean temperature and the measured sensor temperature is small, even smaller than the measurement uncertainty of the $V_{CE}(T)$ -method.

These investigations clearly show a good correlation of the local T_j measurement via sensor – even when it is placed laterally on the chip – and the established method. The results are particularly interesting as the sensors permit to measure temperature independently on the switching state of the transistor as can be seen in Figure 3.45, thus avoiding delay times as required when implementing other methods. This is significant for power cycling tests and in addition also to prospectively determine chip temperature during converter operation for purposes of condition monitoring.

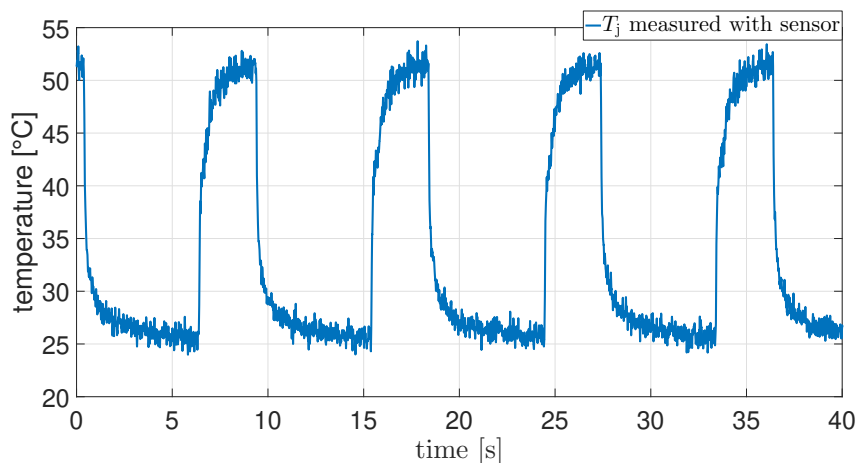


Figure 3.45: Continuous $T_j(t)$ measurement during power cycling of a SiC MOSFET

Conclusion A method to determine the junction temperature T_j of SiC MOSFETs, with or without anti-parallel Schottky diodes, during power cycling tests has been investigated: It uses a sensor, consisting of a chain of small diodes integrated on the chip surface. As exemplarily shown for a chip with a laterally placed sensor, its readouts yield results comparable to the well established and standardised $V_{CE}(T)$ -method to determine T_j of Si devices. This finding will fulfil the stipulation of the European automotive power cycling standard AQC324 to provide a correlation between the established and the newly introduced temperature measurement method.

Analyse von EMV-Aspekten in einem Gleichspannungswandler mit GaN-Transistoren anstelle von Si-IGBTs³³

Immer häufiger kommen in unterschiedlichen Leistungselektronikanwendungen GaN- und SiC-Leistungshalbleiter zum Einsatz. Deren im Vergleich zu Si höhere Schaltgeschwindigkeit kann allerdings zu erhöhten elektromagnetischen Störungen führen. In dieser Studie wurde ein modularer GaN-Gleichstromsteller aufgebaut und dessen elektromagnetischen Eigenschaften mit denen eines bauähnlichen Si-Stellers verglichen. Hierbei wurden sowohl Intra-EMV-Phänomene

³³ von M. Sc. Lars Middelstädt

als auch geleitete und gestrahlte Inter-EMV-Messungen ausgewertet und daraus allgemeingültige Zusammenhänge für die EMV mit GaN-Transistoren im Vergleich zu Si-Transistoren abgeleitet.

Hierfür wurde im Rahmen des GENIAL-Projektes ein nicht-isolierter, bidirektionaler 400 V, 2,5 kW-Gleichstromsteller mit GaN-Transistoren untersucht, dessen Schaltfrequenz 100 kHz beträgt. Der bauähnliche Si-Steller wurde im Sinne der Vergleichbarkeit mit identischer Peripherie ausgeführt; hingegen wurde das Leistungsteil mit Ansteuerung der Transistoren auf deren Eigenschaften abgestimmt aufgebaut. So wurden die Treiberschaltung auf die benötigten transistorspezifischen Spannungsebenen angepasst, die Schaltfrequenz für den Si-Steller auf 20 kHz reduziert und die Leistungsinduktivität sowie die Zwischenkreiskapazität entsprechend der veränderten Schaltfrequenz ausgelegt. Als Resultat zeigen beide Umrichter eine ähnliche Effizienz von 97 %.

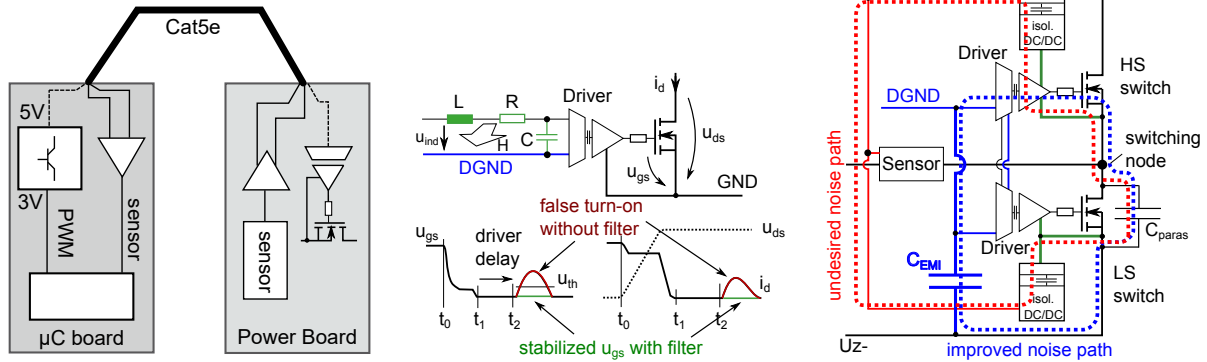
Es war zu erwarten, dass die deutlich schnelleren Schaltflanken der GaN-Transistoren einen störenden Einfluss auf die Ansteuer- und Sensorsignale haben werden. Daher wurde im Gegensatz zu der zweilagigen Platine des Si-Stellers für den GaN-Steller eine vierlagige Platine entwickelt, wodurch die Größen von Leiterschleifen verringert werden konnten. Die Übertragung der PWM-Signale erfolgt transistorunabhängig über eine externe Controllerplatine mit Verstärkerschaltung zur Pegelanpassung. Über ein geschirmtes Cat5e-Kabel werden die PWM-Signale auf den Treibereingang gegeben, wobei dieser mit einem zusätzlichen RC -Glied gefiltert ist (siehe Abbildung 3.46a). Während für den Si-Steller dieser Ansatz zweckmäßig ist, musste für den GaN-Steller eine zusätzliche Ferritperle hinzugefügt und somit ein LRC -Filter ausgelegt werden. Die Ferritperle erhöht die Hochfrequenzimpedanz und dämpft die magnetische Kopplung, welche durch das hohe $\frac{di}{dt}$ und die damit verbundenen magnetischen Felder hervorgerufen wird. Somit kann durch die Ferritperle ein fehlerhaftes Wiedereinschalten des ausgeschalteten Transistor infolge eines benachbarten Transistors verhindert werden (siehe Abbildung 3.46b).

Für die Regelung des Gleichstromstellers wird ein Stromsensor zur Messung des Induktivitätsstromes benötigt. Dieses analoge Signal wird zum Mikrocontroller differentiell übertragen, um Gleichtaktstörungen zu filtern. Gleichzeitig dient ein RC -Glied zur Filterung von differentiellen Signalen. Außerdem wurde die Masseverbindung optimiert: Trotz minimaler Koppelkapazitäten in den isolierenden Bauteilen des Gatekreises bilden diese bei sehr großem du/dt einen Koppelpfad für kapazitive Umladeströme, welche dann über die analoge Masse, an welcher der Sensor angeschlossen ist, fließen und diese stören. Folglich muss den kapazitiven Strömen ein niederimpedanter Pfad geboten werden, welcher sich auf möglichst direktem Wege mit dem Leistungskreis schließt. Dies kann sichergestellt werden, indem die weniger sensitive digitale Masse des PWM-Signals DGND über einen Hochfrequenzkondensator C_{EMI} mit U_Z verbunden wird. Durch diese Maßnahme konnte eine Sensorsignalstörung weitgehend vermieden werden, siehe Abbildung 3.46.

Diese Maßnahmen zeigen, wie stark bereits kleinste Koppelpfade Signale durch das schnelle Schalten von Strom und Spannung beeinflussen und zu Fehlermechanismen führen können, welche bei konventionellem Platinendesign für Si-Transistoren nicht zu beobachten sind.

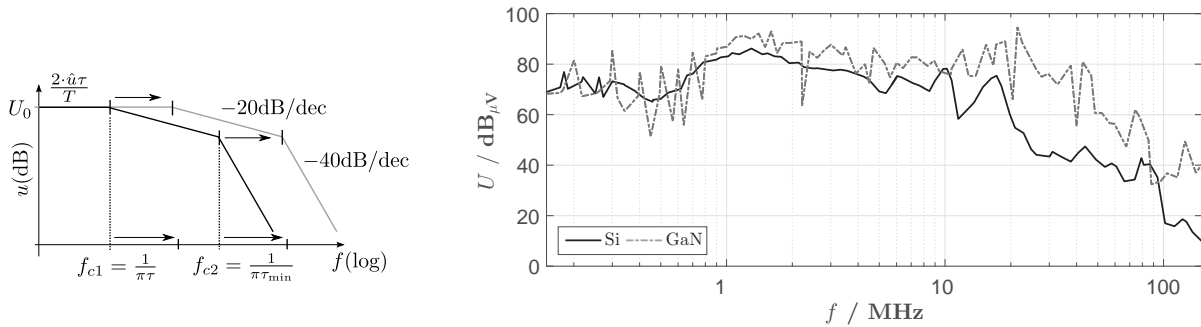
Zusätzlich zur Intrasystem-EMV wurden geleitete und gestrahlte Störungen in einer Absorberhalle nach dem CISPR25-Standard gemessen. Hauptsächlich die Schaltgeschwindigkeiten sind von Bedeutung, da diese das maximale Potential von Störungen definieren. Dieser bekannte Zusammenhang wird durch die Korrelation zwischen einem Trapezpuls und seiner Hüllkurve im Frequenzbereich beschrieben. Die daraus resultierenden charakteristischen Knickfrequenzen stimmen gut mit den Messergebnissen geleiteter Störungen überein und führen zu einem erhöhten Spektrum von bis zu 30 dB ab 33 MHz. (siehe Tabelle 3.2 und Abbildung 3.47).

In Abbildung 3.47 sind Resonanzfrequenzen für den Si-Steller bei 10 MHz und 20 MHz zu erkennen, während für den GaN-Steller Resonanzen bei 20 MHz und 40 MHz zu erkennen sind. Diese sind



(a) Aufbau aus Controllerplatine und Leistungsplatine (b) Induktive Koppelpfade mit und ohne Filter (c) Kapazitive Koppelpfade mit und ohne C_{EMI}

Abbildung 3.46: Unterschiedliche Schaltbilder zur Darstellung interner elektromagnetischen Kopplung einer GaN-Umrichterplatine



(a) Hüllkurve mit Knickfrequenzen, wobei τ = Pulsweite und τ_{min} = Dauer des schnellsten Pulses

(b) Gemessenes Spektrum geleiteter Störungen

Abbildung 3.47: Geleitete Störungen – Potential und Messergebnisse eines Si-IGBT und eines 60 A-GaN-HEMTs

Tabelle 3.2: Werte der Knickfrequenzen in Abhängigkeit der Schaltfrequenz f_{sw} und $\frac{du}{dt}$ bei 400 V für unterschiedliche Leistungshalbleiter

Halbleiter	f_{sw}	$f_{c1} = \frac{1}{\pi\tau}$	$\frac{du}{dt}$	$f_{c2} = \frac{1}{\pi\tau_{min}}$
22 A-GaN-HEMT	100 kHz	63,7 kHz	65,8 $\frac{kV}{\mu s}$	52,4 MHz
60 A-GaN-HEMT	100 kHz	63,7 kHz	42 $\frac{kV}{\mu s}$	33,4 MHz
50 A-Si-IGBT	20 kHz	12,7 kHz	15 $\frac{kV}{\mu s}$	11,9 MHz

den Resonanzen der jeweiligen Drosseln zuzuordnen und zeigen, dass das Spulenlayout an die schnellen Schaltflanken angepasst werden muss. So ist das Minimieren der parasitären Kapazitäten in der Spule vor allem für den GaN-Steller von großer Bedeutung, da so die Oszillationen und somit das Störspektrum reduziert werden können.

Gestrahelte Störungen (siehe Abbildung 3.48) steigen mit GaN-Transistoren ebenfalls. Besonders bei 230 MHz kann eine erhöhte Amplitude beobachtet werden. Diese Störung korreliert mit der Resonanz der Kommutierungsschleife, welche durch die Schaltflanken angeregt wird. Dies bestätigt, dass dieser Einfluss auf das Spektrum nicht vernachlässigbar ist und eine minimale Kommutierungsinduktivität maßgeblich das EMV-Verhalten von GaN-Umrichtern beeinflusst.

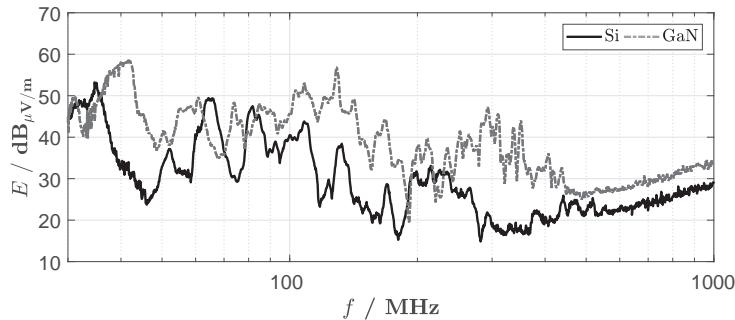


Abbildung 3.48: Gestrahlte Störungen des DC/DC-Wandlers mit Si-IGBTs und 60 A-GaN-HEMTs

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte lässt sich ein Gleichstromsteller mit GaN-Leistungstransistoren und dem daraus resultierenden vorteilhaften Betriebsverhalten realisieren.

Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16EMO0120K vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Regelung eines modularen Gleichspannungswandlers mit GaN-Transistoren³⁴

Der untersuchte modulare Gleichspannungswandler verbindet eine Hochvoltbatterie in einem Elektrofahrzeug mit einem als Zwischenspeicher dienenden Doppelschichtkondensator. Er besteht aus einem Leistungsteil mit acht parallelgeschalteten Phasen, die als Brückenzeige ausgeführt sind, außerdem einer Spannungsversorgung für einen Mikrocontroller und Signalelektronik sowie einem Signalverarbeitungsteil. Besondere Aufmerksamkeit muss hier der Qualität der Sensorsignale gewidmet werden. Aus den schnellen Ein- und Ausschaltvorgängen der GaN-Transistoren folgt im Vergleich zu Si-Transistoren eine erhöhte Steilheit von dU_{DS}/dt , was zu zusätzlichen Störungen von Analogsignalen während der Schaltmomente der Transistoren führt. Um die Signale zu entstören, wurden Gleich- und Gegentaktdrosseln sowie RLC -Filter verwendet, außerdem die Impedanzen der Störpfade optimiert.

Die Anzahl aktiver Phasen des Wandlers hängt vom Arbeitspunkt ab. Mehrphasiger Betrieb erfolgt mit symmetrischer Phasenverschiebung der Schaltzeitpunkte. Die aktiven Phasen des Wandlers werden mit einem PI-Regler stromgeregelt.

³⁴ von M. Sc. A. Chupryn

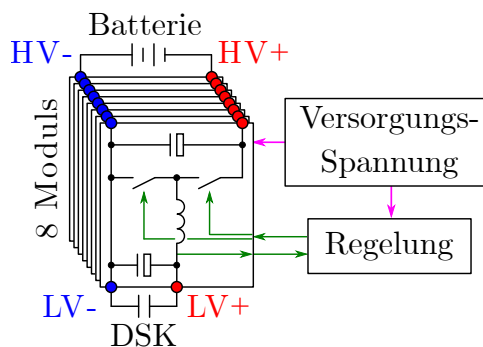


Abbildung 3.49: Aufbau des Si- und GaN-DC/DC-Wandlers

Referenzsystem für die Bewertung magnetischer Felder im Bereich des Widerstandsschweißens zur Umsetzung der neuen EMF-Richtlinie 2013/35/EU³⁵

Der Schutz von Personen vor möglichen Gefährdungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder findet sowohl für den Bereich der Öffentlichkeit als auch an beruflichen Arbeitsplätzen Beachtung. Bei Widerstandsschweißeinrichtungen kommen hohe Schweißströme im kA-Bereich zum Einsatz, die mit dem Auftreten intensiver Magnetfelder im Bedienerbereich verbunden sind. Durch die sich zeitlich ändernden Magnetfelder werden elektrische Feldstärken im menschlichen Körper induziert, die zu Reizwirkungen auf Nerven und anderen Erscheinungen führen können. Im Ergebnis der mit der Verordnung zu elektromagnetischen Feldern vom November 2016 erfolgten Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/35/EU in deutsches Recht ergibt sich eine veränderte Situation bezüglich der Grenzwertcharakterisierungen und der Bewertung von Feldexpositionen.

Anstelle der Zeitbereichsbewertungsmethode nach BG V B 11 bzw. DGUV Vorschrift 15 wird für einwirkende nicht sinusförmige Magnetfelder die als konservativ bewertend geltende Weighted-Peak-Methode empfohlen, ohne dass bisher klare Regeln für deren Anwendung vorliegen. Gemeinsam mit dem Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit (*femu*) der Uniklinik der RWTH Aachen sollen ausgehend von einer vergleichenden Analyse der Bewertungsmethoden praxisgerechte Richtlinien für ihre Anwendung erarbeitet werden.

3.4.3 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] C. Kempniak, S. Idaka, E. Thal, and A. Lindemann, „Investigation of the usage of a chip integrated sensor to determine junction temperature during power cycling tests“, in *10th International Conference on Integrated Power Electronics Systems – CIPS, Stuttgart*, 2018.
- [2] L. Middelstädt and A. Lindemann, „Strategy for Reducing Oscillations in Power Electronic Circuits Using Gate Control“, in *PCIM Conference, Nürnberg*, 2018.
- [3] B. Strauß and A. Lindemann, „A modular DC/DC converter to couple a double layer capacitor to the automotive high voltage grid for short time energy storage“, in *PCIM Conference, Nürnberg*, 2018.

³⁵ von Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

- [4] F. P. Pribahnsnik, M. Bernardoni, M. Nelhiebel, M. Mataln, and A. Lindemann, „Combined experimental and numerical approach to study electro-mechanical resonant phenomena in GaN-on-Si heterostructures“, *Microelectronics Reliability*, vol. 88-90, pp. 389–392, 2018, 29th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis (ESREF 2018), ISSN: 0026-2714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.07.042>. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271418305900>.
- [5] X. Liu and A. Lindemann, „Control of VSC-HVDC Connected Offshore Windfarms for Providing Synthetic Inertia“, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 6, no. 3, pp. 1407–1417, Sep. 2018, ISSN: 2168-6777. DOI: 10.1109/JESTPE.2017.2751541.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] L. Middelstädt and A. Lindemann, *Entwicklung und EMV-Analyse eines modularen GaN-DC/DC-Wandlers*, ETG Workshop Schaltungstechnik für GaN-Bauelemente in der Leistungselektronik, Stuttgart, 2018.
- [2] A. Lindemann, *Aus Störungen lernen ... bevor es zu spät ist — Verhalten leistungselektronischer Betriebsmittel*, 10. FNN-/ETG-Tutorial Schutz- und Leittechnik, Berlin, 2018.
- [3] L. Middelstädt and A. Lindemann, *Power Leitkleben — elektrische und thermische Kontaktierung von Leistungshalbleitern — Ergebnisse des AiF-Projektes „Prozess zum leitfähigen Kleben von Bauelementen für die Leistungselektronik“*, Cluster-Seminar Klebeverbindungen in der (Leistungs-) Elektronik, Nürnberg, 2018.
- [4] A. Lindemann, R. Döbbelin, and L. Middelstädt, *Herausforderungen der EMV für Mittelspannungsumrichter*, Industriearbeitskreis Mittelspannungs-Leistungselektronik, Berlin, 2018.
- [5] L. Middelstädt and A. Lindemann, *Pulse Shaping mit aktivem Treiber für GaN-Leistungshalbleiter zur EMV-Optimierung*, 47. Kolloquium Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung, Freiburg i. Br. 2018.
- [6] A. Lindemann, *Beitrag zum Fachgespräch Kirche und Politik „Umwelt, Klima und Energie — Nachhaltigkeit zwischen Machbarkeit und Ideal“*, Konrad-Adenauer-Stiftung, Magdeburg, 2018.

3.4.4 Veranstaltungen

10th Anniversary of the International Conference on Integrated Power Electronics Systems — CIPS 2018 ³⁶

Between 20 and 22 March, Stuttgart saw the 10th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS), organised by VDE and ECPE in the frame of the ECPE Annual Event 2018. Since the first CIPS in 1999, this biennial conference has been focused on the integration of hybrid and mechatronic systems with high power density and systems' or components' operational behaviour and reliability, respectively. The number of high quality submissions and 350+ participants, both the highest number ever in this conference series, has emphasised the major interest of the international power electronics community in these topics. Again, CIPS had a good mixture of participants from industry, research institutes and academia

³⁶by the Chairmen Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann and Prof. Dr.-Ing. Nando Kaminski

and provided an excellent forum for scientific exchange and networking. The peer-reviewed contributions are available in the proceedings and will be accessible via digital libraries.

One trend became apparent at CIPS 2018: New power semiconductor devices based on the wide band-gap materials silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN) fertilise the development of system integration as well as non-standard applications. Those fast switching devices require packaging solutions and circuit components which contribute only small parasitic elements, e. g. stray inductances, and avoid issues due to electromagnetic interference (EMI). Furthermore, they impose the necessity to implement additional measures, processes and tests to ensure a suitable reliability. This is a precondition for their use in conventional but also new applications of power electronic systems, which require e. g. high power density, reliable operation under harsh conditions such as high temperature, and of course lowest cost. The excellent mixture of CIPS contributions from industry as well as from universities and research institutes proves that the hot topic of integrated power electronic systems is dealt with in science, industrial research and product development. While the technology is mature enough for industrial use, substantial further research is required to cope with future challenges.

The next CIPS conference will take place in spring 2020.

3.5 Institutsebene

3.5.1 Technische Gremien und Verbände

- Prof. Leidhold:
 - VDE und ETG Mitglied
 - IEEE Member
- Prof. Lindemann:
 - Mitgliedschaften und Gremien
 - * Senior Member des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - * Chair of Awards Committee der IEEE Power Electronics Society (PELS)
 - * Counselor der IEEE Student Branch „Otto von Guericke“, Magdeburg
 - * Past Chairman 2005–2006 des Joint IAS/PELS/IES German Chapters
 - * Mitglied von VDE und energietechnischer Gesellschaft im VDE (ETG)
 - * Mitglied bzw. bis 06/2018 Vorsitzender des Fachbereichs Q1 (Leistungselektronik und Systemintegration) der ETG
 - Herausgeberschaft, Redaktion
 - * Technical Programme Chair der International Conference on Integrated Power Electronics Systems CIPS, gemeinsam mit Prof. Kaminski, Prof. Silber und Prof. Wolfgang
 - * Mitglied des International Steering Committees der European Power Electronics and Drives Association (EPE)
 - * Mitglied des Fachbeirates der Konferenz PCIM (Power Conversion, Intelligent Motion)
 - * Associate Editor at Large der IEEE Transactions on Power Electronics
 - Der Lehrstuhl für Leistungselektronik ist ein Competence Centre des European Centers for Power Electronics (ECPE).
- Prof. Vick:
 - Mitglied im Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
 - Mitglied der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE)
 - Mitglied im Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - * Senior Member
 - * Mitglied der Electromagnetic Compatibility (EMC) Society
 - Gutachter für die IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility
 - Mitglied der Joint Task Force A-H der International Electrotechnical Commission (IEC)
- Prof. Wolter:
 - Mitgliedschaften und Gremien
 - * IEEE PES Senior Member
 - * VDE
 - * ETG FB V2 Übertragung und Verteilung
 - * BMWi AG Intelligente Netze und Zähler
 - * BMWi AG Systemsicherheit

- * Executive Board Member IEEE PES German Chapter
- * Associate Editor des IET Generation, Transmission & Distribution Journal
- * Editorenboard at-Automatisierungstechnik

3.5.2 Kolloquien

ENERGYCON 2018³⁷

Die diesjährige *ENERGYCON 2018* fand auf der Insel Zypern statt. Vom LENA waren zwei Teilnehmer vor Ort, um aktuelle Forschungsergebnisse mit anderen Forschern aus der ganzen Welt zu teilen. Die viertägige Konferenz bot viele interessante Vorträge und Diskussionen zu Themen der Energietechnik. Im Fokus lagen Micro Grids, Kommunikationstechnik und Batteriesysteme.

Aber auch andere Themenfelder zu Netzstabilisierung, HGÜ und Energiemarkt wurden mit aktuellen Forschungsergebnissen vorgestellt. M. Sc. André Richter hielt einen Vortrag zum Thema „Under-Frequency Load Shedding in the European Interconnection System – A Multi-Country Model for UFLS Analyzation Under the Impact of Renewables“ und M. Sc. Eric Glende hatte ein Poster mit dem Titel „Optimal Operational Management Methods of Voltage Control With a High Feed of Renewable Energy Sources“.

Eine Exkursion mit allen TeilnehmerInnen der Konferenz führte zu einer 9000 Jahre alten Steinzeitsiedlung „Choirokoitia“, die Unterkünfte der Siedlung zeigte und viel Aufschluss über das damalige Leben gab. Außerdem ging es zu einer Olivenfarm mit einem gigantischen Olivenbaum und einer historischen Ölpresse. Anschließend ging es zwischen 12 Millionen Olivenbäumen zu einem Gut im Inland, wo es ein hervorragendes Buffet gab und zypriotische Tänze aufgeführt wurden.



(a) M. Sc. Eric Glende während der Posterpräsentation auf der *ENERGYCON 2018*



(b) M. Sc. André Richter während seiner Präsentation auf der *ENERGYCON 2018*

Abbildung 3.50: Präsentationen des LENA auf der ENERGYCON 2018

53. International Universities Power Engineering Conference (UPEC) 2018³⁸

Vom 04.09. bis 07.04.2018 fand die diesjährige *UPEC* statt. Veranstaltungsort war dieses Jahr Glasgow, Schottland. Der Lehrstuhl war in diesem Jahr durch drei seiner Mitarbeiter vertreten;

³⁷ von M. Sc. Eric Glende

³⁸ von M. Sc. Jonte Dancker

M. Sc. Jonte Dancker, M. Sc. Sebastian Helm und M. Sc. Christian Ziegler stellten ihre Forschungstätigkeiten im Rahmen von Präsentationen vor. Hierbei zeigte Jonte Dancker ein thermisches und elektrisches Simulationsmodell eines Großbatteriespeichers und einen Vergleich einer Sektorenkopplung des Stromnetzes mit dem Gasnetz und eines nicht-gekoppelten Energiesystems.

Des Weiteren stellte er die Forschungsarbeit von Muhammad Tayyab vor, in der ein zentraler Batteriespeicher mit einem dezentral verteilten Speicher innerhalb einer Wohnsiedlung verglichen wurde. Sebastian Helm präsentierte die Möglichkeit einer Blindleistungskompensation über VSC-Konverter von HGÜ-Strecken, die an einem dynamischen Netzmodell Deutschlands getestet wurde. Christian Ziegler widmete seinen Fachvortrag dem Einfluss von Energiespeichern auf die Fahrplanteue in einem Virtuellen Kraftwerk.

Neben den eigenen Präsentationen gab es eine Vielzahl an weiteren Vorträgen zu verschiedenen Themen des Energienetzes der Zukunft zu besuchen. Die Zeit zwischen den Vortragsessions wurde zum fachlichen Austausch und dem Knüpfen neuer Bekanntschaften intensiv genutzt. Außerhalb des technischen Programms gab es die Möglichkeit die Stadt Glasgow zu erkunden. Besonderes Highlight waren hier die Civic Reception im Rathaus und das Gala Diner im „Kelvingrove Art and Gallery Museum“.



Abbildung 3.51: Gruppenbild der Magdeburger Delegation auf der *UPEC 2018*

ILMA-Forschergruppentreffen 2018³⁹

Die Technische Universität lud vom 20.–21.08. auf den Ilmenauer Campus zum *ILMA-Forschergruppentreffen* ein. Das alljährliche Zusammenkommen der Forscherinnen und Forscher aus Ilmenau und Magdeburg fand damit zum dritten Mal statt und beinhaltete einen regen Austausch aktueller Forschung sowie Ideen für neue Projekte.

Die Uni Magdeburg wurde von den Herren M.Sc. Przemyslaw Trojan (Einsatz von Multi-Agenten-Systemen zur dezentralen Bereitstellung von Systemdienstleistungen) und Jonte Dancker (Kombiniertes thermisches und elektrisches Simulationsmodell für Großbatteriespeicher) mit ihren Vorträgen und anschließenden Diskussionen vertreten. Das Spektrum der weiteren Vorträge

³⁹von M. Sc. Eric Glende

ging von Fehlererkennung über Netzbetrieb bis hin zu Spannungs-Blindleistungs-Koordination. Im Anschluss an die Vorträge wurde allgemein über zukünftig mögliche Projekte diskutiert, ehe beim Grillabend in lockerer Runde der Tag abgeschlossen wurde.



Abbildung 3.52: Gruppenfoto ILMA 2018

IEEE ISGT Europe 2018⁴⁰

Die Konferenz *IEEE ISGT Europe 2018* wurde in Sarajevo, Bosnien-Herzegowina, organisiert. Die *ISGT* war die achte *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference* gesponsert von der *IEEE Power & Energy Society*. Der Fokus lag auf der Industrie- und Herstellungstheorie, auf Anwendungen für die Informations- und Kommunikationstechnologie sowie integrativen erneuerbaren und verteilten Energiequellen im elektrischen Netz.

Der Doktorand M. Sc. Eric Glende vom Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg war dort vertreten. Er präsentierte einen Teil seiner wissenschaftliche Arbeit mit dem Titel „Communication Infrastructure for Dynamic Grid Control Center with a Hardware-in-the-Loop Model“ auf einem Poster. Es waren Doktoranden und Professoren vieler deutscher Universitäten aber auch aus anderen europäischen Ländern vertreten, was eine gute Möglichkeit bot, sich über aktuelle Forschungsthemen auszutauschen. Außerdem waren viele Vertreter aus der Industrie mit interessanten Vorträgen zu aktuellen Projekten auf der Konferenz. Unter anderem waren Siemens, Réseau de Transport d'Electricité France (RTE) und viele weitere Unternehmen vertreten.

Die Konferenz bot den TeilnehmerInnen einige Veranstaltungen, die allen die Geschichte und die traditionelle Küche des Landes näher bringen sollten. Es gab einen Besuch im Nationalmuseum und ein Dinner in einer lokalen Brauerei.

MEDPOWER 2018⁴¹

Die elfte *Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion* fand im Zeitraum vom 11.–15. November 2018 in Cavtat, Kroatien, statt. Experten des Energiesektors Europas kamen zusammen und diskutierten aktuelle Themen zu unterschiedlichsten Themen, wie Betriebsführung, Energiemarkt und IKT Integration in das Energienetz. M. Sc. Eric Glende präsentierte eine Veröffentlichung zum Thema „Testing IEC

⁴⁰ von M. Sc. Eric Glende

⁴¹ von M. Sc. Eric Glende

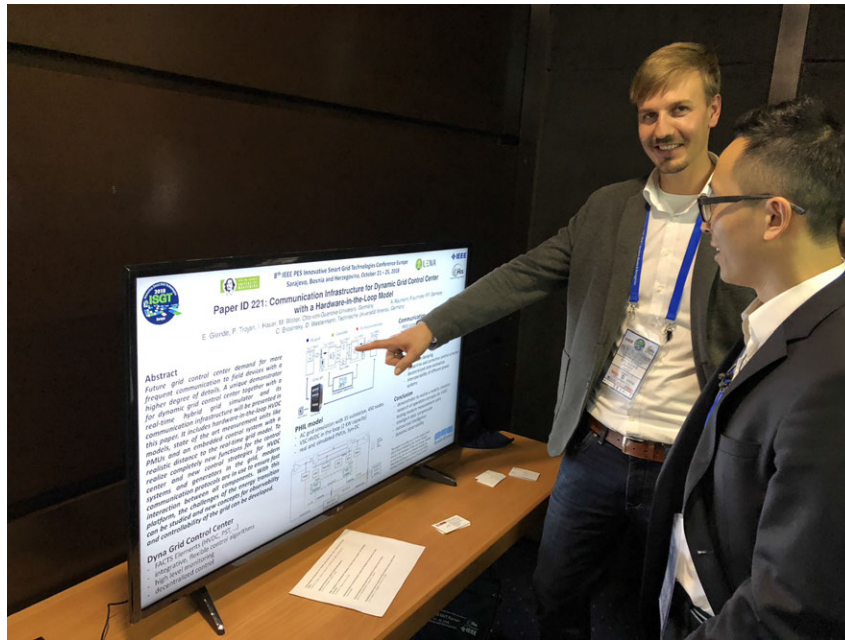


Abbildung 3.53: M. Sc. Eric Glende während der Posterpräsentation auf der *ISGT 2018*

60870-5-104 and C37.118 Based Control Center Applications Using a Real Time Simulation Platform“ und stellte damit eine IKT-Lösung für zukünftige Leitwarten vor.

Die Arbeit ist im Zuge des Projekts *Dyna Grid Control Center* entstanden. Die Konferenz bot ein sehr gutes Format mit reichlich interessanten und tiefgreifenden Themen in vielen Sessions. In einigen Keynotes wurden aktuelle Themen adressiert, die von der Industrie vorgestellt wurden. Es gab auch reichlich Abwechslung, da der Ort direkt an der Adria und in der Nähe der bekannten, historischen Stadt Dubrovnik liegt. So gab es eine Stadtführung und zudem die Möglichkeit die kulinarischen Besonderheiten des Landes kennenzulernen.

Power and Energy Student Summit 2018⁴²

Die diesjährige „Power and Energy Student Summit 2018“ (PESS) wurde vom 02. bis zum 04. Juli 2018 am Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement der TU Kaiserslautern ausgerichtet. Es war die achte Auflage der PESS. Die PESS ist eine speziell für Studierende konzipierte Konferenz und findet jährlich an wechselnden Standorten statt. Der Veranstalter im kommenden Jahr ist der Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Auf der PESS 2018 standen folgende Themen im Fokus des Auditoriums:

- Distribution Planning and Smart Grid
- HVDC and System Operation
- System Stability
- Protection and Fault Analysis
- Markets
- Data Analysis Techniques

⁴²von M. Sc. Nicola Gast

Jeder Block beinhaltete zwei bis drei interessante Vorträge - eine anregende Diskussion im Auditorium schloss den jeweiligen Block. Der Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg war ebenfalls mit dem Beitrag „Security-constrained optimization of power plant dispatch in interconnected networks with several market areas and price zones“ vertreten. In der zu Grunde liegenden Betrachtung werden fünf Modelle, welche der Visualisierung grenzüberschreitender Lastflüsse dienen, vorgestellt.

Des Weiteren wird ein aktiver Eingriff der NTC-Werte (ein technischer und physikalischer Grenzwert der jeweiligen Leitung) mit integrierter Feedbackfunktion exemplarisch anhand des Deutschland-Modells implementiert. Übergeordnetes Ziel ist die Entwicklung eines „security constrained unit commitment“-Modells. Dafür werden die vier innerhalb der ENTSO-E bestehenden Marktkopplungen (Central-West-Europe, North-West-Europe, Central-East Europe, Multi-Regional Coupling) simuliert. Diese bauen aufeinander auf und werden auf das gesamte europäische Verbundnetz erweitert. Dabei wurde ein Modell zur Simulation des Einflusses des NTC-Wertes auf die Kraftwerkseinsatzplanung entwickelt.

Dresdener Kreis 2018⁴³

Vom 20. bis 21. März fand das alljährliche Forschertreffen des *Dresdener Kreises* statt, einem gemeinsamen Kolloquium von Vertretern der vier Partneruniversitäten Dresden, Duisburg/Essen, Hannover und Magdeburg. Ziel des Kolloquiums ist es, den wissenschaftlichen Austausch rund um das Thema der Energietechnik zu fördern. In diesem Jahr war die Otto-von-Guericke-Universität der Ausrichter.

Das Treffen begann mit einer Führung durch das Umspannwerk Wolmirstedt. In dessen alter Leitwarte wurde gemäß der Tradition in insgesamt acht Fachvorträgen über aktuelle Forschungsarbeiten der Universitäten informiert. Dabei wurde ein breites Themenspektrum vom Optimierungspotential des Blindleistungsaustausches bis hin zu Resonanzuntersuchungen in Übertragungsnetzen abgedeckt. Die Forschergruppe vom LENA wurde durch Herrn M. Sc. Christian Ziegler („Transiente Stabilität für das Mehrmaschinenproblem – Stabilitätsbetrachtung mit dem Flächensatz“) und Herrn M. Sc. Yonggang Zhang („Analysis and control of stimulation of harmonics and resonance frequencies in hybrid AC/DC grids with inverter dominated generation“) vertreten.

Anschließend lud die Otto-von-Guericke-Universität zum gemeinsamen Abendessen ein, bei dem sich die TeilnehmerInnen in gemütlicher Atmosphäre über abgeschlossene und zukünftige Forschungsvorhaben austauschen konnten. Am zweiten Tag stand eine Bootsfahrt mit Exkursion zum Schiffshebewerk Rothensee auf dem Programm. Die Bootsfahrt auf der Elbe führte die Teilnehmer über mehrere bis zu 19 Meter hohe Schleusen zum Elbe-Havel-Kanal. Über das Wasserstraßenkreuz wurde die Elbe anschließend gequert und die Fahrt in Richtung Schiffshebewerk Rothensee fortgesetzt. Dort wurde im Rahmen einer Führung die Funktionsweise und Bedeutung dieses Schiffshebewerks erläutert. Ein gemeinsames Mittagessen bildete den gelungenen Abschluss des diesjährigen „Dresdener Kreises“ in Magdeburg.

2018 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)⁴⁴

Ende Juni dieses Jahres fand die internationale Konferenz *PMAPS* in Boise, Idaho, statt. Organisiert wurde diese von dem IEEE PES Boise Chapter, dem Stromversorgungsunternehmen

⁴³ von M. Sc. Christian Ziegler

⁴⁴ von M. Sc. Tamara Schröter

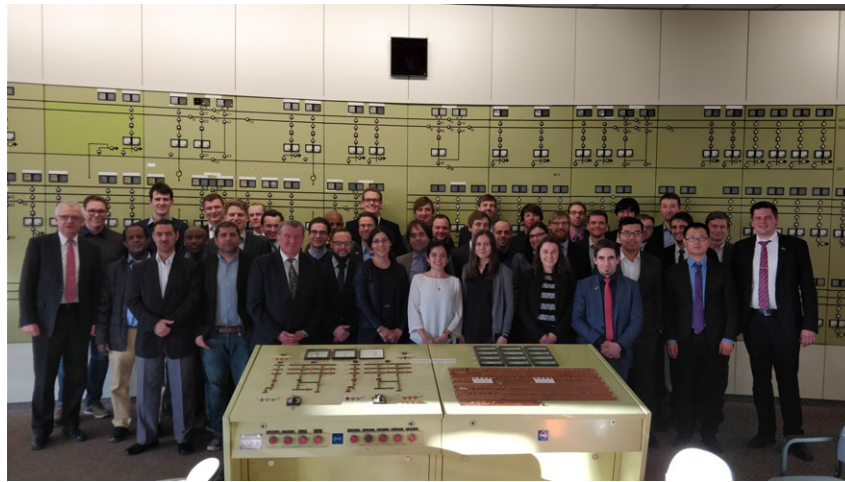


Abbildung 3.54: Dresdner Kreis 2018: Gruppenfoto in der alten Leitwarte im Umspannwerk Wolmirstedt

Idaho Power, der University of Idaho und der Boise State University. PMAPS ist das weltweit führende Forum für Ingenieure und Wissenschaftler, um ihre Erfahrungen, Ideen und Forschungen zu probabilistischen Methoden, die in Energiesystemen zum Einsatz kommen, auszutauschen und zu diskutieren. Das Thema der PMAPS 2018 lautete: „Probabilistische Methoden: Praktische Ansätze für das Risikomanagement und die Unsicherheit in der Elektrizitätswirtschaft“.

Auf der Konferenz wurden insgesamt 155 Vorträge aus 32 Ländern präsentiert. Der LENA wurde dabei durch die wissenschaftliche Mitarbeiterin Tamara Schröter vertreten. Sie stellte ihre Forschungsergebnisse zu dem Thema dynamische Kombinationsmethodik für die Erzeugungsvorhersage Erneuerbarer Energien im Rahmen eines Vortrags vor. Der Name ihrer daraus resultierenden Veröffentlichung lautet „Development of Methods for an Optimized Infeed Forecast of Renewable Energies“.

High-Voltage-Workshop 2018⁴⁵

In der Woche vom 17. bis zum 22. September fand der „18. International Workshop on High-Voltage Engineering“ statt. Die jährliche Konferenz wurde dieses Jahr in Cottbus ausgetragen. Neben den zwei Teilnehmern des LENA-Lehrstuhls nahmen 21 weitere DoktorandInnen der Universitäten aus Cottbus-Senftenberg, München, Dresden, Wrocław (Polen), Poznań (Polen) und Stuttgart teil. Die Sessions waren auf die Themen High-voltage materials, Discharge und Power Systems ausgerichtet.

Die Mitarbeiter Woldu Tahaguas und Sebastian Helm präsentierten beide in der Session „Power Systems“. Woldu Tahaguas gab dabei einen Überblick über den aktuellen Stand seiner Dissertation mit dem Thema „Investigation on high-order model of synchronous machine for studying the dynamic behaviors of power networks“. Sebastian Helm präsentierte Ergebnisse aus dem abgeschlossenen Projekt „DynaGridCenter“ (DGCC) mit der Präsentation „Intelligent and decentralized reactive power compensation by an HVDC link“.

Im Rahmen des Workshops besuchten die TeilnehmerInnen unter anderem die verschiedenen Labore der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, wie zum Beispiel das High-Voltage-Labor und das EMC-Labor. Weiterhin gab die Universität einen Einblick in das Power System Simulation Center, indem sich die Studierenden intensiv mit der Betriebsführung auseinandersetzen.

⁴⁵ von M. Sc. Sebastian Helm



Abbildung 3.55: Gruppenfoto High-Voltage-Workshop 2018