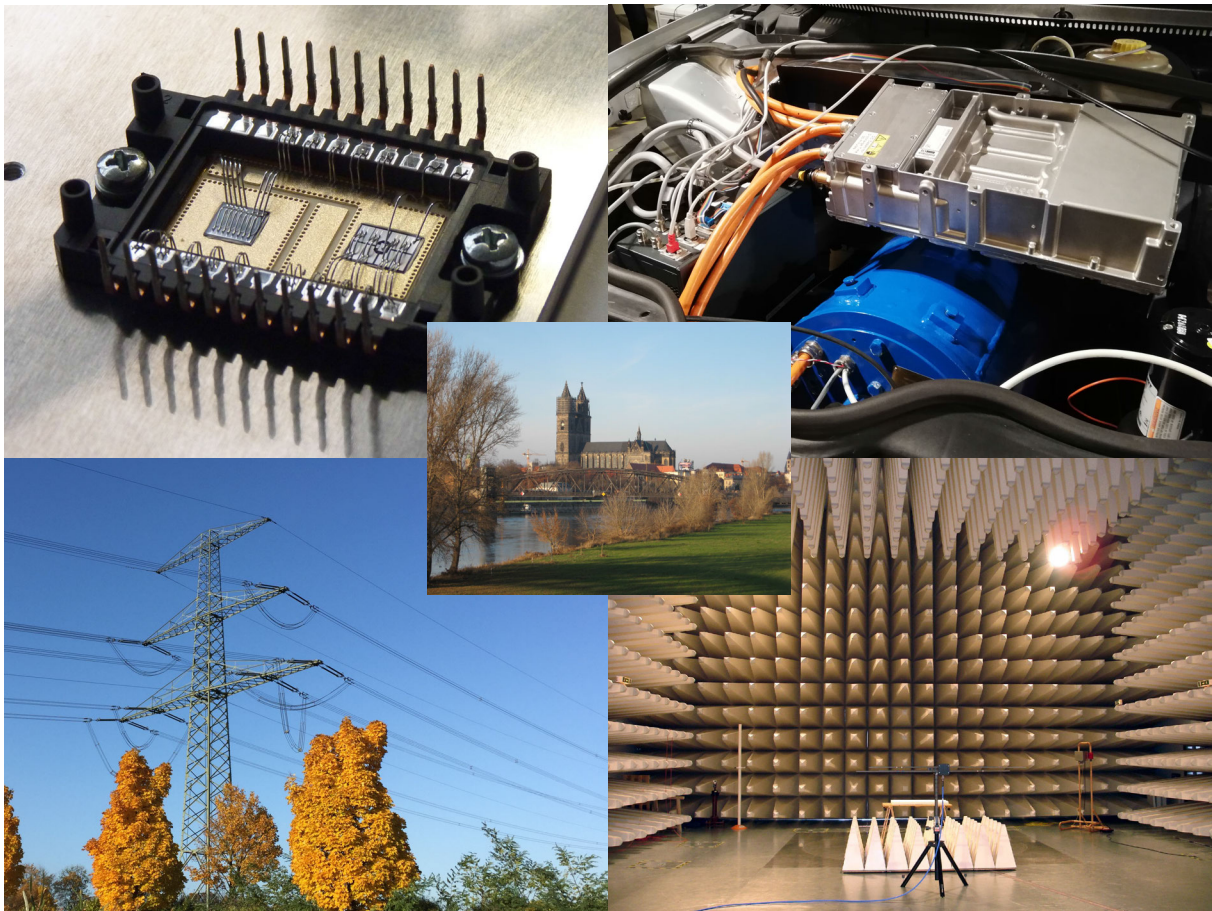


Jahresbericht 2019

der Lehrstühle für

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



FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

Anschrift

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg

Postfach 4120

39016 Magdeburg

Sekretariate

- Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

Frau Wohner

Gebäude 03 – Raum 129

Telefon (0391) 67-58596

E-Mail andrea.wohner@ovgu.de

Telefax (0391) 67-42481

- Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie und
Lehrstuhl für Leistungselektronik

Frau Baumgarten

Gebäude 09 – Raum 124

Telefon (0391) 67-58592

E-Mail melanie.baumgarten@ovgu.de

Telefax (0391) 67-42408

- Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

Frau Morscheck

Gebäude 09 – Raum 226

Telefon (0391) 67-58868

E-Mail janet.morscheck@ovgu.de

Telefax (0391) 67-41236

URLs

- Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme
<http://www.iesy.ovgu.de/Lehrstuehle/Elektrische+Antriebssysteme>
- Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie
<http://www.lena.ovgu.de>
- Lehrstuhl für Leistungselektronik
<http://www.ovgu.de/llge>
- Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit
<http://www.emv.ovgu.de>

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Jahr 2019 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.

Auch in diesem Jahr haben wir in zahlreichen Forschungsprojekten Antworten auf die vielfältigen, drängenden Fragen der Energietechnik finden können. Neben den bereits laufenden großen Forschungsprojekten wie z. B. ILEP oder RE-FLEX konnten weitere wichtige Projekte gewonnen werden. Besonders hervorzuheben sind hierbei die vom Land Sachsen-Anhalt geförderten Projekte „Low-Cost-Teilentladungsmessung“ sowie „Innovative Investitionsplanung zur intelligenten ökonomisch, ökologischen Prosumer- und Netzoptimierung (IZI).

In der Lehre bieten wir fakultätsübergreifend über 40 Lehrveranstaltungen an, die in diesem Jahr durch die Vorlesung „Digital Protection of Power Networks“ von Prof. Rebizant von der TU Breslau als Gastdozent ergänzt wurde. Die Lehrstühle des Instituts für elektrische Energiesysteme beteiligen sich auch an dem neu geschaffenen Studiengang Elektromobilität. Die im Jahr 2019 betreuten 34 studentischen Forschungsprojekte, 14 Bachelorarbeiten und 41 Masterarbeiten zeigen, dass die Energieforschung ein spannendes und nachgefragtes Themenfeld bietet.

Daneben konnte insbesondere die Kooperation mit der TU Ilmenau weiter vertieft werden. Hierzu war das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung von Herrn Prof. Westermann zu einem zweitägigen wissenschaftlichen Gedankenaustausch zu Gast in Magdeburg. Auch die langjährige, enge Kooperation mit den Universitäten in Hannover, Dresden und Duisburg-Essen im Rahmen des Dresdener Kreises wurde fortgeführt.

Auch in diesem Jahr haben wir unsere wissenschaftlichen Erkenntnisse auf zahlreichen Konferenzen einem breiten, internationalen Fachpublikum vorgestellt. Besonders hervorzuheben sind hierbei das IEEE General Meeting in Atlanta, die IEEE ISGT in Gramado sowie das 8th ECPE SiC & GaN User Forum.

Der im Jahr 2018 eröffnete Netzleitstand des Lehrstuhls für elektrische Netze hat in diesem Jahr eine weitere Würdigung erhalten, in dem er zum besuchbaren Ort im Rahmen des BMWi-geförderten SINTEG-Projekts WindNODE geworden ist.

Am 18.11. wurde in diesem Jahr Dr.-Ing. Iryna Chychykina auf dem Gebiet „Comparison of different redispatch optimization strategies“ promoviert. Ende Oktober hat Dr.-Ing. Wolfgang Fischer vom Lehrstuhl für Leistungselektronik seinen wohlverdienten Ruhestand angetreten. Ich danke ihm für seine langjährige, zuverlässige Mitarbeit, mit der er das Bild vom IESY bei Generationen von Studenten mitgeprägt hat.

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 Firmen, 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 2020.

Magdeburg, im Dezember 2019

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	Lehrbeauftragte	1
1.1.3	Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten	1
1.1.4	Gastwissenschaftler	1
1.1.5	Externe Promovenden	2
1.1.6	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	4
1.3.4	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	4
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	Institutsbene	4
1.5.1	Technik	4
1.5.2	Verwaltung	5
2	Studium und Lehre	7
2.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	7
2.1.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	7
2.1.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	14
2.1.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	14
2.1.4	Abgeschlossene Masterarbeiten	14
2.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	15
2.2.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	15
2.2.2	Abgeschlossene Forschungsprojekte	20
2.2.3	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	21
2.2.4	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	21
2.2.5	Praktikantenbetreuung	22
2.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	24
2.3.1	Vorlesungen, Übungen und Praktika	24
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 Bachelor- und Studienarbeiten	37
2.4.5	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	37
2.5	Institutsebene	38
2.5.1	Internationale Hochschulkooperationen	38
2.5.2	Aktivitäten in Verbänden	40
2.5.3	Exkursionen	44
2.5.4	Studienwerbung	46
2.5.5	Preise	57
3	Forschung	59
3.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	59
3.1.1	Forschungsprofil	59
3.1.2	Forschungsprojekte	61
3.1.3	Veröffentlichungen	69
3.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	70
3.2.1	Forschungsprofil	70
3.2.2	Forschungsprojekte	70
3.2.3	Promotionen	81
3.2.4	Veröffentlichungen	81
3.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	84
3.3.1	Forschungsprofil	84
3.3.2	Forschungsprojekte	85
3.3.3	Promotionen	96
3.3.4	Preise	96
3.3.5	Veröffentlichungen	98
3.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	102
3.4.1	Forschungsprofil	102
3.4.2	Forschungsprojekte	102
3.4.3	Promotionen	105
3.4.4	Veröffentlichungen	106
3.4.5	Veranstaltungen	107
3.5	Institutsebene	109
3.5.1	Technische Gremien und Verbände	109
3.5.2	Kolloquien	110

1 Personalia

1.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

1.1.1 Hochschullehrer

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

1.1.2 Lehrbeauftragte

- Prof. Dr.-Ing. Vlado Ostovic, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

1.1.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten

- M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh
- Dipl.-Ing. Andreas Bannack
- M. Sc. Sebastian Benecke
- Dipl.-Ing. Andreas Gerlach
- M. Sc. Sebastian Hieke
- Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt (Mitglied des Vorstandes des Instituts für elektrische Energiesysteme)
- Dr.-Ing. Mario Stamann
- M. Sc. Zhao Zhao

1.1.4 Gastwissenschaftler

- Milkias Berhanu Tuka, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Zenachew Muluneh Hailemariam, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Adisu Teshale Afeta, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Prof. Dr. Tafesse Abera, 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. Oybek Ishnazarov, Scientific and Technical Centre of JSC Uzbekenergo
- Dr. Manuel Armando Mazzoletti, Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentinien

1.1.5 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
- Niklas Förster, BeXema GmbH
- Benjamin Horn, SMELA

1.1.6 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)

1.2.2 Lehrbeauftragte

- Dr.-Ing. Pio Lombardi, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg
- Dr.-Ing. André Naumann, Fraunhofer Gesellschaft, IFF Magdeburg
- Prof. dr. hab. inż. Dr.-Ing. E. h. Waldemar Rebizant, TU Wrocław, Polen: Digitale Schutztechnik

1.2.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- M. Sc. Stephan Balischewski
- Dr.-Ing. Iryna Chychykina (bis 31.12.2019)
- M. Sc. Jonte Dancker
- M. Sc. Martin Fritsch (seit 01.07.2019)
- M. Sc. Nicola Könneke
- M. Sc. Marc Gebhardt
- M. Sc. Mahmood Gholizadeh
- M. Sc. Eric Glende
- M. Sc. Sebastian Helm
- Dr.-Ing. Maik Heuer
- M. Sc. Christian Klabunde
- M. Sc. Philipp Kühne
- M. Sc. André Richter

- M. Sc. Christian Rinne
- Dr.-Ing. Przemyslaw Trojan (bis 30.06.2019)
- 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 (bis 31.10.2019)
- Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid
- Dr.-Ing. Mathias Magdowski
- Dipl.-Phys. Jörg Petzold
- M. Sc. Anke Fröbel (bis 31.07.2019)
- M. Sc. Johanna Kasper
- M. Sc. Thomas Gerlach
- M. Sc. Enrico Pannicke
- M. Sc. Moustafa Raya
- M. Sc. Benjamin Hoepfner
- M. Sc. Felix Middelstädt
- M. Sc. Max Rosenthal

1.3.3 Externe Promovenden

- M. Sc. Benjamin Willmann, Volkswagen AG, Wolfsburg

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
- Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
- Dr.-Ing. Wolfgang Fischer (bis 31.10.2019)
- M. Sc. Carsten Kempik
- M. Sc. Tianyu Li (seit 23.09.2019)
- M. Sc. Lars Middelstädt (bis 25.10.2019)

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)
- Dipl.-Ing. Katharina Mecke (Werkstofflabor und Videotechnik)
- Jens-Uwe Schulz (Meister, Werkstatt)
- Lothar Griep (Werkstatt)
- Helge Müller (Werkstatt)
- Hannes Albrecht (Auszubildender Werkstatt)

1.5.2 Verwaltung

- Martina Krieger (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für elektrische Energiesysteme)
- Julia Reinecke (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für elektrische Energiesysteme) (seit 01.07.2019)
- Katja Grohe-Gottschling (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. Shokoofeh Abbaszadeh
	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 permanentenerregten Synchronmaschine
- Feldorientierte Regelung der permanentenerregten 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

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: 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. Shokoofeh Abbaszadeh

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

- 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

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

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

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

- 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. Leonid Ignatov: Entwurf und Prototypenbau eines Tubular-Linearmotors
2. Mykhaylo Golovin: Aufbau und Inbetriebnahme einer Inselnetzversorgungseinheit für Wasserkraftanlagen
3. Sylvia Hellmuth: Zylinderdruckbestimmung bei einem Einzylinderverbrennungsmotor ohne Zylinderdrucksensor
4. Max Hoppe: Drehzahlregelung einer Asynchronmaschine mit Schleifringläufer
5. Oleksandr Zhulin: Montage und Inbetriebnahme einer TFM-Scheibenläufermaschine
6. Florian Pflugfelder: Untersuchung eines Ringsegmentgenerators für eine Klappschaufelwasserrad
7. Stephan Schneider: Oberwellenanalyse von leistungselektronischen Stellgliedern

2.1.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Andreas Frost: Ansteuerungskonzept eines Rolling-Rotor-Motor
2. Sylvia Hellmuth: Modernisierung eines Antriebssystems für das Handling von Gipsfaserplatten
3. Lukas Hüsgen: Steuerverfahren für einen dreiphasigen Solarantriebswechselrichter im Inselbetrieb
4. Jonas Kaiser: Entwicklung eines Mess- und Regelungssystems für die Untersuchungen an einer Wasserradflottille

2.1.4 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Robert Otta: Lambdaregelung eines Freikolbenmotors
2. René Imkhaimer: Optimierung einer Linearmotorpositionsregelung
3. Leonid Ignatov: Entwicklung, Auslegung und Konstruktion eines Tubular-Linearmotors inklusive Integration des Sensorsystems
4. Sebastian Pfützner: Flusschätzung für eine hochgenaue Drehmomentenregelung von Asynchronmaschinen auf Basis gemessener und geschätzter AC-Spannungen
5. Andreas Käßer: Erstellung eines Modells für die Simulation von Querschneiderantrieben in Industrieanwendungen
6. Anatolli Grydin: Realisierung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung
7. Fabian Kelch: Parametrisierung und Automatisierung eines Back-to-Back-Umrichter-konzepts
8. Jonathan Mischke: Leistungsmessung in kontaktlosen Energieübertragungssystemen

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)

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 Energieversorgungssystems
- 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

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

- 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

Digital Protection of Power Networks

SS 2019 Blockseminar 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Waldemar Rebizant

- Concepts and requirements of power system protection
- Protection of particular network elements
- Digital signal processing for protection purposes
- Adaptive and intelligent protection systems

2.2.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Lena Marie Overbeck: Analyse von Vorlesungsmethoden und Aufarbeitung der Vorlesung Brennstoffzelle
2. Magnus Heineke: Die Wärmepumpe als Bindeglied im Rahmen der Sektorenkopplung
3. Markus Eppler: Parametrierung eines modernen Schutzgerätes und Integration in ein Real-Time-Softwaremodell
4. Jean-Bastite Weh: Implementierung der Netzstruktur des Verteilnetzes von Sachsen-Anhalt in eine Leitwarte
5. Anastasiia Laskina: Analyzing of Voltage Stability using Thevenin Equivalent
6. Shamil Bakhteev: Potentials of Power-to-Gas Technologies within the Mobility Sector
7. Maxim Tiurin: Time Series based Redispatch Optimization
8. Khalil Akhmetsafin: Potentials of Power-to-Gas Technologies within the Gas Infrastructure

9. Ekaterina Borodacheva: Literature Review on the Role of Heat Pumps and Battery energy storage in microgrid application
10. Lina-Maria Schmittmann: Automatisierte Darstellung von Ergebnissen der Netzberechnung in MATLAB
11. Noman Alvi: Modelling of Economic Load Forecast Techniques
12. Marcus Oberthür: OpenSource Modellierung eines 110-kV-Verteilnetzes
13. Tomasz Kosiak: Developing a Reference Grid From the PES Region (Poland)
14. Hani Al Aghawani: QU-Einsatzkonzept von HGÜ-Systemen
15. Iga Mendrecka: Providing Inertia with HVDC Systems
16. Bartłomiej Madura: QU-Einsatzkonzept von HGÜ-Systemen
17. Marc Ferchland: Unified-Power-Flow-Controller in elektrischen Energieübertragungsnetzen

2.2.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Jonathan Ulbrich: Potenzialanalyse für Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen zur Umsetzung von V2G-Anwendungen
2. Welf Schröder: Abschätzung der Entwicklung des Zubaus von Windenergieanlagen im Netz der Avacon Netz GmbH
3. Abedalhameed Soubar: Konzeptentwicklung zur Integration energetischer Analysen in früheren digitalen Absicherungsphasen von automobilen Produktionsanlagen
4. Martha Ambach: Technologien der Sektorenkopplung im Kontext der Endverbraucher

2.2.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Shalini Araveeti: Implementation of Market Coupling in MATLAB
2. Tony Glimm: Ausgleich der Phasenunsymmetrie in ländlichen Niederspannungsnetzen durch V2G
3. Wolfram Hetze: Modellbewertung für Brennstoffzellen anhand normativer Prüfbedingungen
4. Prakash Joshi: Development of a Cost Optimization Algorithm for the Economic Use of Fuel Cell Combined Heat and Power in Residential Areas
5. Thorsten Carstens: Energiemarkt im Kontext der kurz- und mittelfristigen Prognoseanalyse und Identifikation von Einflussvariablen
6. Mykyta Siedov : Analyse und Umsetzung geeigneter Methoden für eine optimierte netzbetreiberseitige Lastprognose
7. Fahad Mansoor: Analysis of DLR as Part of the Planning Process for Optimization of German Transmission Grid

2 Studium und Lehre

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 8. Cassandra Klonz: | Modellierung und Simulation von Medienkreisläufen einer reversiblen PEM-Brennstoffzelle |
| 9. Jens Götze: | Methoden zur Auslegung und Betriebsoptimierung von Energy Hubs in gekoppelten Energiesystemen |
| 10. Bala phani Nagavardhanapu: | Exploitation of Flexibility Options Within Net-Zero Energy Factories |
| 11. Ali Al Hamwy: | Optimale Investitionsentscheidung für ein variables Anlagenportfolio |
| 12. Kandalam Sai Chamanth Swarup: | Development of an Application for Local Micro Grid Sizing and Optimization |
| 13. Lena Marie Overbeck: | Entwicklung und Applikation eines Bewertungssystems für Wasserstoffspeicher |
| 14. Veeranjanyulu Punati: | Development of an Application for the Modeling of Energy Networks with MATLAB |
| 15. Magnus Heineke: | Entwicklung eines Businessmodells für die Sektorenkopplung im Verteilnetz |
| 16. Alexander Ziervogel: | Einsatzkonzepte schrägregelnder Transformatoren an der Kuppelstelle zwischen Verteil- und Übertragungsnetz |
| 17. Ankit Singh: | Profit Maximized Virtual Power Plant With Respect to Sector Coupling |
| 18. Sarah Wagner: | Entwicklung und Evaluierung einer Qualitätssicherung für die Fertigung und Montage von stationären Lithium-Batterie-Modulen |

2.2.5 Praktikantenbetreuung

Schülerpraktikum am LENA - Interessante Einblicke in Forschung und Studium¹

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.

¹von Dr.-Ing. Maik Heuer und M. Sc. Christian Klabunde

Im aktuellen Jahr fanden fünf zweiwöchige Schülerpraktika (siehe Tabelle 2.1) statt. Die Schüler wurden durch die Praktikumsangebote der Fakultät auf das LENA aufmerksam und lernten die Bereiche Elektrische Energienetze, Elektromobilität und Brennstoffzelle kennen.

Tabelle 2.1: Schülerpraktikanten am LENA

Name	Schule	Zeitraum
Janis Winkler	W.-v.-Siemens Gymnasium Magdeburg	11.03 – 22.03.2019
Niklas Schmolski	W.-v.-Siemens Gymnasium Magdeburg	11.03 – 22.03.2019
Ahmad Alrefaie	Albert-Einstein-Gymnasium Magdeburg	04.03 – 15.03.2019
Florian Biegel	Geschwister-Scholl-Gymnasium	17.06 – 28.06.2019
Raffael Hebecker	Friedrich-Ludwig-Jahn-Gymnasium	23.09 – 02.10.2019

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. 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. Johanna Kasper
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. 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 zur 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. Johanna Kasper 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
----	---------------------------	---

In den zwei Wochen vom 11. bis 22. Februar fand das diesjährige Projektseminar „Elektro-/Informationstechnik (LEGO Mindstorms)“ statt. Am Anfang des Blockseminars gibt es für die Erstsemesterstudierenden der Bachelorstudiengänge „Elektrotechnik und Informationstechnik“ sowie „Elektromobilität“ eine Einführung in die Programmierung mit MATLAB und in die Abfrage und Ansteuerung von Sensoren und Motoren des LEGO-NXT-Bausatzprogramms.

Anschließend geht es für die Studierenden darum, aus einem programmierbaren LEGO-Steuergerät, einigen Sensoren (z. B. Distanzmessung mittels Ultraschall, Helligkeit, Farbe, Berührung, usw.) und bis zu drei Servomotoren einen Roboter oder eine Maschine zu bauen, die irgendeine mehr oder weniger sinnvolle Aufgabe verrichtet. Die Ideenfindung, die Entwicklung sowie die Konstruktion liegen dabei ganz in der Hand der Studierenden. Die Programmierung findet in MATLAB statt.

In diesen Jahr entwickelten die 35 teilnehmenden Studierenden in insgesamt sechzehn Zweier- und Dreiergruppen unter anderem so praktische Dinge wie:

- einen Roboter zum Farbsortieren von Legosteinen
- einen Bildstanzer für Blumensteckmasse
- einen Tic-Tac-Toe-Roboter
- einen Cocktail-Roboter, der Cola und Fanta zu Spezi vermischt
- eine analoge Uhr

deren Funktionalität in kurzen YouTube-Videos gezeigt wird. Zum Abschluss des Seminars stellten die Studierenden ihre Projekte mit kurzen Präsentationen und Live-Demonstrationen vor einer Jury aus MitarbeiterInnen und DozentInnen der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik vor. Die gelungensten Projekte wurden auch wieder beim campusdateLIVE am 25. Mai 2019 gezeigt.

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

Fünfte 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 am German-Russian Institute of Advanced Technologies (GRIAT) an der Staatlichen Technischen Andrej-Nikolajewitsch-Tupolew-Universität Kasan, Russland vom 25. März bis 05. April die Vorlesung „Modern Concepts of Electromagnetic Compatibility and EMC Measurements“. Die Blockveranstaltung fand in dieser Form bereits zum fünften Mal statt. Der Kurs bestand aus einer täglichen Vorlesung und einer Rechen- sowie Computerübung.

Behandelt wurden die Themen:

- Störsignale,
- Rechnen in Dezibel,
- Gleichtakt- und Gegentaktsignale,
- Zeit- und Frequenzbereich,

2 Studium und Lehre

- Kopplungsmechanismen und Elementarstrahler,
- Schirmungstheorie nach Schelkunoff,
- lineare und nichtlineare Filter sowie
- Grundlagen der EMV-Messtechnik

In der ergänzenden Computerübung wurden praxisnahe Probleme zur galvanischen und kapazitiven Kopplung sowie zu Filtern mit Hilfe der Numeriksoftware MATLAB bzw. dem Netzwerksimulator LTspice berechnet und simuliert. Außerdem wurde Abstrahldiagramme von Dipolantennen mit Hilfe der Feldsimulationssoftware CONCEPT-II analysiert und grafisch dargestellt. Wie auch alle anderen Lehrveranstaltungen am GRIAT wurde dieser Kurs ebenfalls in englischer Sprache durchgeführt. Die neun russischen Studierenden im zweiten Mastersemester waren mit großem Interesse dabei und schätzen die individuelle Betreuung. Sie werden dann ab Oktober 2019 für ein Semester in Magdeburg studieren und dabei das zur Lehrveranstaltung zugehörige Laborpraktikum sowie die praktischen Übungen absolvieren.

Das Bachelor- und Masterstudium in Kasan ist ähnlich aufgebaut wie in Deutschland, wobei eines der Hauptthemenfelder die Luftfahrttechnik und insbesondere der Hubschrauber- und Flugzeugbau ist. Stilecht befindet sich deshalb eine Tupolew Tu-144 – ein in den 1960er-Jahren entwickelter überschalltauglicher Passagierjet der russischen Fluggesellschaft Aeroflot – auf dem Campus des GRIAT, die als Fotomotiv sehr beliebt ist, siehe Abbildung 2.1.



Abbildung 2.1: Gruppe der TeilnehmerInnen am Blockseminar „Modern Concepts of Electromagnetic Compatibility and EMC Measurements“ im Rahmen des German-Russian Institute of Advanced Technologies (GRIAT) an der Technischen Andrej-Nikolajewitsch-Tupolew-Universität (KNRTU-KAI) in Kasan

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 IngenieurInnen in der KNRTU-KAI und in den deutschen Partneruniversitäten, zu denen neben der OVGU auch noch die Technischen Universitäten in Ilmenau sowie in Kaiserslautern gehören. Attraktiv für die erfolgreichen Studierenden sind die zwei Abschlüsse, die sie von der KNRTU-KAI und einer der deutschen Partneruniversität erhalten.

2.3.2 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Dominic Anthony Umoh: Different Types of Rechargeable Batteries
2. Christoph Leugers: Netzwerkmodell für geschirmte Leitungen zur Untersuchung der Störfestigkeit
3. Marsel Dvoiashkin: Measurement of the Plane Wave Coupling to a Linearly and Non-Linearly Loaded Single-Wire Transmission Line
4. Rishat Bagautdinov: Simulation of the Plane Wave Coupling to a Linearly and Non-Linearly Loaded Single-Wire Transmission Line
5. Abedalhameed Soubar: Messaufbauten zur Messung der Transferimpedanz für Netzwerk- und Energiekabel
6. Aleksandr Simakov: Numerical simulation of the Transient Shielding Efficiency according to Schelkunoff
7. Kamilla Ashimova: Theoretical Analysis of the Transient Shielding Efficiency According to Schelkunoff
8. Abir Md Rifatul Bari: EMC in Autopilot Aircrafts
9. Vincent Szameitat: Einsatz eines mittels Bluetooth fernsteuerbaren Roboters „Smartibot“ für Studienwerbeaktionen und Tage der offenen Labortür

2.3.3 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Marc Ferchland: Parallelisierung eines Feldsimulators für Modenverwirbelungskammern
2. Michel Schneider: Entwicklung von arduino-basierten LoRa-Klienten zur Analyse und Gestaltung von LoRaWAN-Netzwerkstrukturen

2.3.4 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Uli Tuschik: Entwurf eines Bewertungsverfahrens für die Wirksamkeit von Ferritfolien in der Geräteentstörung

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 M. Sc. Anton Churpryn M. Sc. Carsten Kempiaik M. Sc. Tianyu Li

- 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 Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
	Ü 1 SWS:	M. Sc. Lars Middelstädt
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Wolfgang Fischer M. Sc. Lars Middelstädt M. Sc. Carsten Kempiaik

- 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
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Anton Chupryn
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
M. Sc. Anton Chupryn
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
P 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
M. Sc. Carsten Kempiaik
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Wolfgang Fischer
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Carsten Kempiaik

- 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 Kempiak

- 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 Kempiak
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)

Power Electronic Components and Systems

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

- 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. Arsenii Ostapenko: Preparation of a TAPAS Board to Operate an AC Motor
2. Mukesh Ghosh: Recent Developments in GaN Semiconductors

2.4.4 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Kevin Ladentin: Simulieren des Einflusses von Bauelementstreuung auf das Schaltverhalten
2. Maximilian Oelze: Experimentelle Validierung des Einflusses von Bauelement- und Schaltungsparameterstreuung auf das Schaltverhalten
3. Fabian Schimke: Entwicklung, Aufbau und Test von IGBT-Treibern
4. Willem Biermann: Entwicklung eines effizienten DC/DC-Wandlers für eine Solarpumpe

2.4.5 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Andreas Ehrlich: Konzeption und Umsetzung eines Temperaturmessverfahrens zur Bestimmung der Sperrschichttemperatur von SiC-MOSFETs während aktiver Lastwechselversuche

2.5 Institutsebene

2.5.1 Internationale Hochschulkooperationen

4. Studierendenkonferenz des German-Russian Institute of Advanced Technology (GRIAT)²

Im Rahmen des German-Russian Institute of Advanced Technology, kurz GRIAT, besuchen hauptsächlich russische Studierende in Austauschsemestern Masterkurse an deutschen Universitäten. Das 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. Langfristiges Ziel der Kooperation ist der Aufbau einer deutsch-russischen Universität, die Etablierung gemeinsamer Studiengänge und Lehrvorhaben sowie deren Fortführung in wechselseitig verbundenen Forschungsaktivitäten.

In einer eintägigen Studierendenkonferenz am Dienstag, den 05. März 2019, stellten sich die GRIAT-Studierenden des aktuellen Jahrgangs in Vorträgen und Posterpräsentationen gegenseitig ihre bisherigen Ergebnisse vor. Weiterhin nahmen auch die BetreuerInnen der studentischen Arbeiten, in den Studiengängen engagierte Lehrpersonen sowie weitere VertreterInnen des Deutschen Akademischen Austauschdienstes, der beteiligten Universitäten und externer Industriepartner an der Studierendenkonferenz teil (siehe Abbildung 2.2). Nachdem die letzte Austragung 2018 in Magdeburg stattfand, wurde die diesjährige Konferenz im „Reinsberger Dorf“ wieder in der Nähe von Ilmenau ausgerichtet.



Abbildung 2.2: 4. Studierendenkonferenz des German-Russian Institute of Advanced Technology (GRIAT)

Nach einem Grußwort des Ilmenauer Rektors Peter Scharff und des Kasaner Rektors Albert Gilmutdinov stellen folgende Studiengänge ihre Ergebnisse vor:

- Communications and Signal Processing
- Automotive Engineering
- Research in Computer and Systems Engineering
- Chemical and Energy Engineering
- Electrical Engineering and Information Technology
- Systems Engineering and Cybernetics

Die Studierenden der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik stellten dabei folgende Themen vor:

- Potentials of Power-to-Gas Technologies within the Gas Infrastructure

²von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- Potentials of Power-to-Gas Technologies within the Mobility Sector
- Measurement of the Plane Wave Coupling to a Linearly and Non-Linearly Loaded Single-Wire Transmission Line
- Simulation of the Plane Wave Coupling to a Linearly and Non-Linearly Loaded Single-Wire Transmission Line
- Time Series based Redispatch Optimization
- Optimal Design and Operation of Storage Technologies and Renewable Resources of a Microgrid Connected with the Mains Grid
- Preparation of a TAPAS board to operate an AC Motor
- Theoretical Analysis and Parameter Studies of the Transient Shielding Efficiency According to Schelkunoff
- Numerical Simulation and Parameter Studies of the Transient Shielding Efficiency According to Schelkunoff
- Analyzing of Voltage Stability Using Thevenin Equivalents

Nach abschließenden Grußworten des Magdeburger Rektors Jens Strackeljan klang die Konferenz mit einem gemeinsamen Lagerfeuer und einem Konferenzdinner aus.

Kooperation mit der Ukraine³

Im Rahmen des Projektes „Deutschsprachiger Studiengang“ besuchten auch in diesem Jahr wieder acht ukrainische Lehrerinnen die Otto-von-Guericke-Universität. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung 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 Grundlagen der Energieversorgung, Speichersystemen und erneuerbare Energie.

Zur Festigung der Zusammenarbeit hat Dr. Denys Meshov, Leiter deutschsprachiges Ausbildungszentrum der Technischen Universität Charkiw, die Otto-von-Guericke-Universität besichtigt. Neben der Vorstellung seiner Person, hat Dr. Meshov am 26.09. die unterschiedlichen Studiengänge sowie die sprachlichen Weiterbildungsmöglichkeiten präsentiert.

Vom 01. bis 26. Juli haben Studenten im Rahmen der Gemeinsamen Ukrainisch-Deutschen Fakultät (GUDF) ein Praktikum absolviert. Bei dem vierwöchigen Aufenthalt wurde ein Einblick in unterschiedliche Themengebiete der Elektrotechnik und des Maschinenbaus gegeben. Weiterhin waren die Studenten im direkten Austausch mit Studierenden der Otto-von-Guericke-Universität und konnten Ihre Erfahrungen austauschen sowie eine Vielzahl von Eindrücken gewinnen. Neben den täglichen Lehrveranstaltungen nahmen die Studenten an Exkursionen zu Volkswagen, Schunk Pulvermetallurgie (Thale), Umspannwerk Wolmirstedt und der Windkraftanlagen-Fertigung von Enercon teil.

TU Breslau

Die langjährige Kooperation mit Politechnika Wroclawska wurde auch in diesem Jahr gepflegt: Neben dem laufenden Austausch von Studenten und Studentinnen boten Dozenten aus Magdeburg wiederum in Breslau die Ringvorlesung „Renewable Energy Sources“ an und Prof. Rebizant las in Magdeburg „Digital Protection of Power Networks“. Auch war das IESY bei der feierlichen Immatrikulation und Eröffnungsfeier am 28. September in Breslau vertreten.

³von M. Sc. Sebastian Helm

2.5.2 Aktivitäten in Verbänden

IEEE Student Branch Magdeburg

IEEE Grubenfahrt Zielitz⁴ Zum ersten Mal fand am 19. Januar eine Besichtigung des Salzbergwerkes von K+S in Zielitz durch den IEEE statt (siehe Abbildung 2.3). 25 Teilnehmer wurden von einem Vertreter des Bergmannvereins empfangen und erhielten in einer Präsentation erste Einblicke über das Werk Zielitz.

Zum ersten Mal fand am 19. Januar eine Besichtigung des Salzbergwerkes von K+S in Zielitz durch den IEEE statt. 25 Teilnehmer wurden von einem Vertreter des Bergmannvereins empfangen und erhielten in einer Präsentation erste Einblicke über das Werk Zielitz. Danach wurde sich umgezogen, jeder erhielt die notwendige Ausrüstung und die Korbfahrt in 700 m Tiefe begann. Dort wurde auf PKWs umgestiegen und ein Teil des Grubengebäudes wurde erkundet. Die Exkursionsteilnehmenden hatten die Möglichkeit zu sehen, wie das Salz unter Tage abgebaut wird und welche verschiedenen Fahrzeuge dabei zum Einsatz kommen. Zudem standen verschiedene Mitarbeiter zu Verfügung, die als Ansprechpartner für alle aufkommenden Fragen dienten.

Nach Beendigung der Besichtigung gab es noch ein gemeinsames Mittagessen und alle Teilnehmer waren beeindruckt von der anderen Welt unter Tage.



Abbildung 2.3: Besuchergruppe der IEEE Grubenfahrt Zielitz

20. Uni-Open-Drachenbootrennen⁵ Die IEEE Student Branch Magdeburg hat auch in diesem Jahr bei der 20. Jubiläums-Regatta des Sportzentrums der Otto-von-Guericke-Universität teilgenommen (siehe Abbildung 2.4). Zusammen mit 19 weiteren Teams konnten „die IEEE Biberjägerjäger“, wie sich die Student Branch in Anlehnung an die fakultätsinterne Mannschaft „die Biberjäger“ nannte, wieder auf dem Salbker See II um den Pokal des Rektors fahren.

⁴von M. Sc. Maximilian Oelze

⁵von M. Sc. Benjamin Hoepfner



Abbildung 2.4: IEEE Student Branch Magdeburg beim 20. Uni-Open-Drachenbootrennen

Dabei gelang es den Biberjägerjägern erneut die Vorjahreszeit auf 55,613s zu verbessern und damit über eine Distanz von 200 m auf den 9. Platz zu fahren. Top motivierte Teilnehmerinnen und Teilnehmern und vor allem reichlich Spaß führten zu diesem sehr guten Ergebnis. Alle schlossen sich der Meinung an im nächsten Jahr wieder anzugreifen und auf „Biberjägerjagt“ gehen zu wollen.

Teilnahme an der IEEE Xtreme Programming Competition⁶ Die IEEE Xtreme Programming Competition ist das jährliche Highlight der Programmierfans der IEEE Student Branch. In diesem Jahr konnten wir dank der Verstärkung vom Forschungscampus STIMULATE mit drei Teams antreten (siehe Abbildung 2.5). Damit waren wir die einzigen Teams, die die deutsche Sektion bei dem internationalen Wettbewerb vertreten hatten. In der internationalen Wertung lag unser bestes Team auf Platz 213 von 4130. Das ist unser bisheriges bestes Ergebnis.

Damit sich die Programmierer auf die kniffligen Programmieraufgaben konzentrieren konnten, kümmerten sich unser Chairman Benjamin und Mathias um die Verpflegung mit Mett und Chili con Carne. Getränke, Süßes und Salziges wurden ebenfalls wieder von der Student Branch gestellt.

Auch wenn wir wieder an einigen Aufgaben verzweifelt sind, hatten alle viel Spaß und freuen sich schon auf die Teilnahme im nächsten Jahr.

Wir bedanken uns bei Prof. Leone für die Bereitstellung des TET-Numeriklabors und bei Prof. Lindemann für die Übernahme der offiziellen Betreuung.

Firmenstaffel 2019⁷ Die Magdeburger Firmenstaffel im Elbauenpark gehört mittlerweile fest zum Breitensportkalender der Landeshauptstadt und ist ebenso eines der etablierten Social Events der IEEE Student Branch an der OVGU.

In diesem Jahr gab es neben der allgemeinen Wertung für die 1000 Teams auch eine Sonderwertung für die über 100 Mannschaften, die allein für die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und die Hochschule Magdeburg-Stendal an den Start gingen. In dieser Hochschulwertung erreichte

⁶ von M. Sc. Benjamin Hoepfner

⁷ von M. Sc. Mathias Magdowski

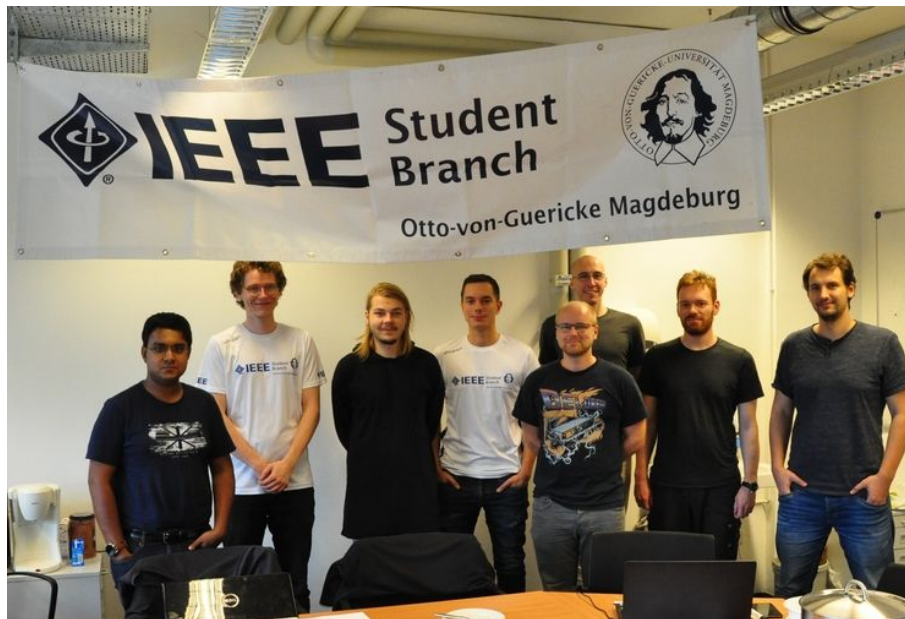


Abbildung 2.5: Teilnahme der IEEE Student Branch an der IEEEExtreme Programming Competition

das IEEE-Laufteam einen sehr guten dritten Platz der 23 Herren-Mannschaften (insgesamt Platz 26 von 395 Herren-Teams).



Abbildung 2.6: Team der IEEE Student Branch bei der Firmenstaffel 2019

Für die IEEE Student Branch war es nach 2011, 2012 und 2015 bis 2018 bereits die siebente Teilnahme. In diesem Jahr gingen Benjamin Hoepfner (12:52 min), Hannes Schreiber (11:51 min), Maximilian Oelze (13:08 min), Mathias Magdowski (11:53 min) und als Schlussläufer Falk (12:22 min) auf die jeweils 3 km lange Strecke um den Jahrtausendturm und die Seebühne (siehe Abbildung 2.6).

IEEE Go-Kart-Race⁸ Die IEEE Student Branch hat sich zum Beginn des Wintersemesters 2019/20 zu einem außerordentlichen Stammtisch getroffen und sich in einer achtköpfigen Gruppe beim Go-Kart-Fahren gemessen (siehe Abbildung 2.7). Mit Qualifying, Ampelstart und Siegerehrung konnte den „echten“ Rennfahren nachempfunden werden. Ein Glückwunsch gilt dem Sieger und neuen IEEE-Mitglied Sebastian Dreier, der im Rennen alle hinter sich lassen konnte.



Abbildung 2.7: Gruppenfoto beim IEEE Go-Kart-Race

VDE-Hochschulgruppe Magdeburg⁹

Auch im Jahr 2019 bestand die Kooperation zwischen dem VDE und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Insbesondere die VDE-Hochschulgruppe ist ein Produkt dieser Kooperation. Zahlreiche Aktivitäten, wie Exkursionen, Fachgespräche, Konferenzen und Workshops bereicherten die Zusammenarbeit enorm. Der Zuwachs an Studierenden in der Gruppe spiegelt diesen Trend wider.

An dieser Stelle sei besonders dem VDE-Bezirksverband unter der Leitung von Dipl.-Ing. Lutz Simmang sowie den kooperierenden Industrieunternehmen gedankt. Die Planungen für Aktivitäten in 2020 laufen bereits auf Hochtouren und versprechen interessante Themen.

25 Jahre später¹⁰

Nach knapp 25 Jahren gab es am 23.10. ein Wiedersehen für ehemalige Studierende unserer Fakultät. Eine Seminargruppe des Studienganges Kybernetik traf sich an ihrer „alten“ Studienstätte.

In einem kleinen Rundgang erforschten sie die Veränderungen an der Fakultät. Am Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energien erläuterte Frau M. Sc. Nicola Könneke die Herausforderungen an die Elektrischen Netze und deren Steuerung am Beispiel einer Netznachbildung in

⁸ von M. Sc. Benjamin Hoepfner

⁹ von M. Sc. Marc Gebhardt

¹⁰ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

der Simulations-Leitwarte. Anschließend hatten die Teilnehmer die Gelegenheit die Absorberhalle des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit in der Experimentellen Fabrik zu besuchen (siehe Abbildung 2.8). Neben vielen Fragen weckten alle Stationen und auch der Weg dazwischen bei Vielen Erinnerungen an die eigene Studienzeit.



Abbildung 2.8: Ehemalige Seminargruppe des Studienganges Kybernetik in der Absorberhalle

2.5.3 Exkursionen

Exkursion der VDE- und IEEE-Hochschulgruppen nach Greifswald und Stralsund¹¹

Am 5. und 6. Juni fand die von der VDE-Hochschulgruppe und IEEE Student Branch organisierte Exkursion nach Greifswald und Stralsund statt. Erster Anlaufpunkt war der Wendelstein 7X in Greifswald. Während der dortigen Führung lernte die Gruppe, die aus Studierenden und Promotionsstudierenden bestand, den Aufbau und die Geschichte der dortigen kennen. Gerade in Hinblick auf die versiegenden konventionellen Energieträger stellt die Kernfusion eine aussichtsreiche Möglichkeit der Energieerzeugung dar. Eine Besichtigung der Anlage schloss die Führung ab (siehe Abbildung 2.9).

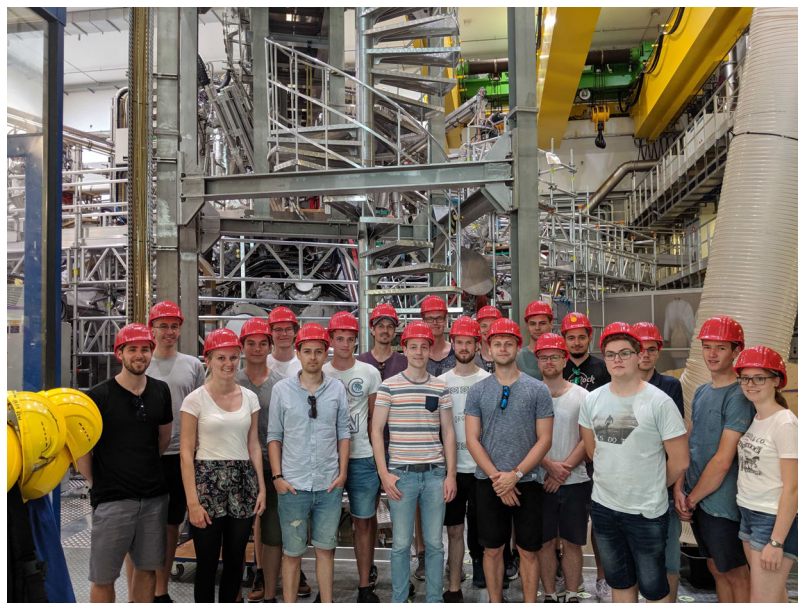


Abbildung 2.9: Gruppenfoto im Wendelstein 7X

¹¹von M. Sc. Marc Gebhardt



Abbildung 2.10: Besuch der Störtebeker-Brauerei

Nach Bezug der Unterkunft in Greifswald ging es auf die Insel Rügen, genauer gesagt nach Altefähr, wo ein Badestopp eingelegt wurde. Nach dieser warmen Erholungspause folgte die Besichtigung der Störtebeker-Brauerei. Hier wurde vor allem hinsichtlich der dort genutzten Regelungstechnik und Produktionsautomatisierung viel dazugelernt. So konnte der gesamte Weg der Produktion vom Hopfen und Malz bis hin zum fertigen Bierprodukt betrachtet werden, was einen hohen Anteil an Regelung und Steuerung der Speicheranlagen, Befüllstationen und Transportlogistik anschaulich darstellte (siehe Abbildung 2.10). Am Abend wurden die dort gebrauten Biere natürlich noch verkostet und für gut befunden.

Der zweite Tag beinhaltete eine Führung durch die Leitwarte der EnBW-Kontrollstation in Barhöft. Von dort werden nahezu alle Windparks des Netzbetreibers und auch die anderer Netzbetreiber beobachtet, gewartet und gesteuert. Das Wartpersonal erklärte die Hilfsmittel zur Windprognose, die nautischen Verhältnisse auf See sowie die Möglichkeiten der Überwachung aller Windparks. Am Nachmittag des 6. Juni trat die Gruppe die Heimreise an.

Besonderer Dank geht an dieser Stelle an das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, die EnBW-Basisstation in Barhöft, die Störtebeker-Brauerei, die Jugendherberge Greifswald sowie an alle Organisatoren aus VDE und IEEE.

Exkursion ins Umspannwerk nach Wolmirstedt¹²

Am Montag, den 15.07.2019, waren 12 ukrainische Studierende mit Herrn Kühne und Herrn Gebhardt im Umspannwerk in Wolmirstedt und besichtigten die dortige Primärtechnik. Auf der Führung durch die Anlage wurden sämtliche Elemente des UW und vor allem auch der Aus- und Umbau zur Integration der HGÜ-Stationen anschaulich erklärt (siehe Abbildung 2.11).

Das LENA dankt den Mitarbeitern der 50Hertz am Standort Wolmirstedt für die Führung.

¹²von M. Sc. Marc Gebhardt



Abbildung 2.11: Gruppenfoto im Umspannwerk Wolmirstedt

2.5.4 Studienwerbung

LENA beim Drachenbootrennen 2019¹³

Am Donnerstag, den 13. Juni fand das Drachenbootrennen am Salbker See II statt. Wie in den Vorjahren stellte das LENA ein Team (siehe Abbildung 2.12). Die bunt durchmischte Truppe paddelte sich nach mäßigem Vorlauf durch einen starken Hoffnungslauf in den Zwischenlauf und scheiterte dort knapp, sodass der Finallauf verpasst wurde. Das Event, welches mehr als Team Building, denn als Leistungssport dient, erfreut sich großem Interesse und wird immer beliebter im Rahmen der Kollegen und Studierenden.

Die Teilnehmer danken dem Sportzentrum für die Ausrichtung des Wettkampftages und freuen sich, im nächsten Jahr wieder angreifen zu können.



Abbildung 2.12: LENA-Boot beim Drachenbootrennen 2019

¹³M. Sc. Eric Glende

Team „LENA voller ELAN“ und Disziplin „Elektrotechnik“ bei Academic Bicycle Challenge 2019 siegreich¹⁴

Mit Ende des Monats Juni endete auch die weltweit ausgerufene Academic Bicycle Challenge für die Teilnehmer der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Das Team „LENA voller ELAN“ errang mit 6470,5 km mit einigem Abstand den ersten Platz an der OVGU. Im weltweiten Vergleich belegt das Team derzeit Rang neun. Die Einzelwertung war ebenso erfolgreich aus Sicht der Elektrotechnik. Mit fünf Teilnehmern unter den besten zehn Fahrern konnte auch hier eindrucksvoll gewonnen werden. Besonderer Dank geht auch an das Team des IEEE.

Im Einzelnen wurden folgende Plätze erreicht (siehe Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Academic Bicycle Challenge 2019 – Team „LENA voller ELAN“

Rang (im Team)	Rang (total)	Name	Gefahrene Strecke in km
1	2	Magdowski, Mathias	1554,6
2	3	Heuer, Maik	1515,6
3	6	Wenske, Michael	976,3
4	7	Gebhardt, Marc	904,6
5	33	Schallschmidt, Thomas	413,4
6	71	Ulbrich, Jonathan	273,8
7	77	Glende, Eric	245,3
8	87	Ziegler, Christian	223,4
9	90	Klabunde, Christian	210,8
10	116	Richter, André	152,7
11	185	Helm, Sebastian	19,3

Maker Event „Autonomes Fahren“ zusammen mit Infineon¹⁵

Am Dienstag, den 19. November fand in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Elektronik von Prof. Dr.-Ing. Vadim Issakov und MitarbeiterInnen der Infineon AG ein Maker Event „Autonomes Fahren“ statt, an dem etwa 50 Studierende teilnahmen. Zunächst wurden die entsprechenden selbstfahrenden Autos auf Basis des quelloffenen Donkey-Car-Projektes vorgestellt und detailliert erklärt. Die Autos bestehen aus einem 3D-gedruckten Chassis aus Kunststoff und einigen handelsüblichen Modellbauteilen. Als „Gehirn“ dient ein Raspberry Pi, zur Ansteuerung der Motoren ein weiterer Arduino-Mikrocontroller. Das Auto ist weiterhin mit einer Frontkamera ausgestattet und per WiFi vernetzt.

Zur Demonstration der Funktionsweise wurde eine Teststrecke mit Klebeband auf dem Boden markiert und das Auto durch manuelle Steuerung eines Studenten mehrere Runden lang angeleert. Die Bilder der Frontkamera wurden zusammen mit den Lenkwinkeln aufgezeichnet und via Internet an einen Großrechner bei Infineon übertragen, um ein künstliches neuronales Netz zur Steuerung des Autos anzulernen. Wenige Minuten später wurden das entsprechende Netz auf das Auto übertragen, das daraufhin eigenständig und autonom fahrend seine Runden drehen konnte. Die Abendveranstaltung wurde durch eine kleine Netzwerkveranstaltung abgeschlossen, für die das Dekanat der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik freundlicherweise ein Catering bereitstellte.

¹⁴M. Sc. Eric Glende

¹⁵von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

2 Studium und Lehre

Am Mittwoch, den 20. November trafen sich dann interessierte Studierende, um mehr über das Auto zu erfahren und Projektideen zu entwickeln, bei denen in Kleingruppen weitere solcher autonom fahrenden Autos entwickelt, in Betrieb genommen, erprobt und mit weiteren Sensoren wie z. B. einer Radarabstandsmessung oder Kollisionserkennung ausgerüstet werden sollen (siehe Abbildung 2.13).



Abbildung 2.13: Maker Event „Autonomes Fahren“ zusammen mit Infineon und dem Lehrstuhl für Elektronik von Prof. Dr.-Ing. Vadim Issakov (Foto: Jana Dünnhaupt)

Schülermesse „Traumberuf IT & Technik“¹⁶

Am 30.10. fand zum wiederholten Male die Traumberuf IT & Technik-Messe in Hamburg statt und wir waren wieder dabei. Die Messe richtet sich an Schüler und Schülerinnen der 10. bis 12. Klasse, die sich für Studiengänge aus den MINT-Bereichen interessieren. Von Salzwedel über Kiel bis Flensburg erstreckt sich das Einzugsgebiet der Messe. In vielen Gesprächen konnten unsere Studiengänge, der Standort Magdeburg und die Vorteile eines MINT-Studiums beworben werden.

Schnupper-Laborpraktikum für SchülerInnen des Domgymnasiums Magdeburg zu den Grundlagen der Elektrotechnik¹⁷

Wie misst man Strom, Spannung, Widerstand und Leistung? Wie benutzt man ein Digitalspeicheroszilloskop? Wie verhalten sich Halbleiterbauelemente wie Dioden? Was passiert bei Wechselstrom an Spulen und Kondensatoren? Diesen und weiteren Fragen gingen 18 SchülerInnen vom ökumenischen Domgymnasium aus Magdeburg in einem Schnupper-Laborpraktikum zu den Grundlagen der Elektrotechnik nach (siehe Abbildung 2.15). Die Laborversuche fanden unter studentischer Anleitung am Donnerstag, den 27. Juni im Rahmen einer Naturwissenschaftswoche der SchülerInnen statt.

In Dreiergruppen experimentieren die SchülerInnen zu den Themen:

- Messen elektrischer Größen
- Elektrische Bauelemente und einfache elektrische Schaltungen, untersuchen, verstehen, anwenden

¹⁶ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

¹⁷ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.14: Schülmesse „Traumberuf IT & Technik“ in Hamburg

- Experimentelle Untersuchung von Wechselstromwiderständen

Auf die Versuche bereiteten sich die SchülerInnen bereits in der Schule mit entsprechenden Versuchsanleitungen vor. Nach einer kurzen Arbeitsschutzbelehrung konnten sie dann selbst Schaltungen aufbauen, die Labornetzteile einschalten und praktisch mit Multimetern sowie Oszilloskopen messen und experimentieren. Studierende der Bachelorstudiengängen „Elektrotechnik und Informationstechnik“ sowie „Medizintechnik“ unterstützten die SchülerInnen dabei und konnten so ihr eigenes Wissen direkt anwenden und weitergeben.

Neben den elektrotechnischen Experimenten gab es auch Informationen zum Studieren an der OVGU, so dass vielleicht in ein paar Jahren einige der jetzigen SchülerInnen selbst als Studierende ein solches Schnupperpraktikum betreuen.

IdeenExpo 2019 in Hannover¹⁸

Vom 15. bis 23. Juni war die Otto-von-Guericke-Universität mit einer Vielzahl von Exponaten und Experimenten aus der Elektro- und Informationstechnik auf der IdeenExpo in Hannover vertreten. Neben den Fahrzeugen vom Mobilitätscampus ist auch der „Rettungswagen der Zukunft“, wie schon vor zwei Jahren, ein Publikumsmagnet (siehe Abbildung2.16).

Viele neue und gut durchdachte Anfass- und Mitmachexperimente wurden von den StudentInnen der Elektrotechnik bzw. Medizintechnik vor Ort vorgeführt bzw. beim Selbstversuch erklärt. Als Highlights zeigten sich das kompakte, universelle Ultraschallgerät, mit dem kleine Phantome erkannt werden können, und die berührungslose Navigation durch Röntgenbilder mit einem 3D-Handtracker.

¹⁸ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

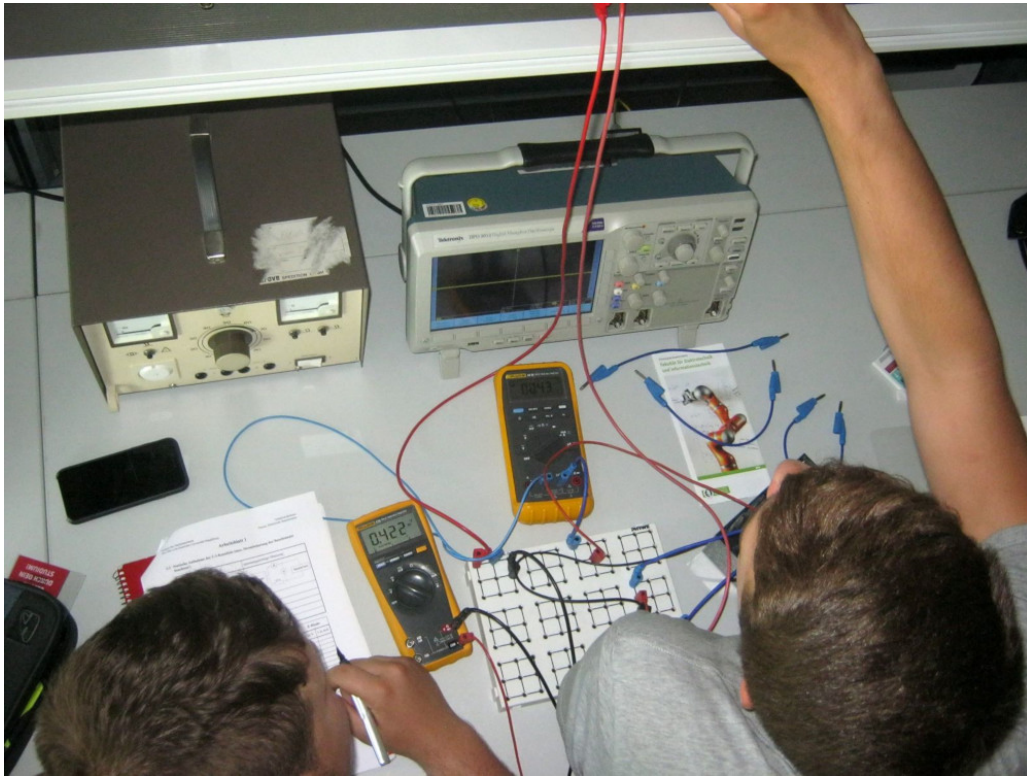


Abbildung 2.15: Schnupper-Laborpraktikum für SchülerInnen des Domgymnasiums Magdeburg zu den Grundlagen der Elektrotechnik



Abbildung 2.16: IdeenExpo 2019 in Hannover

Career@EIT – Regionale Unternehmen stellen sich vor¹⁹

Die erste Karrieremesse der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik feierte am 28.05.2019 eine gelungene Premiere. Sechs Unternehmen der Region stellten sich kurz den Studierenden vor und kamen danach in lockerer Atmosphäre mit den zahlreichen Interessenten unserer Fakultät ins Gespräch (siehe Abbildung 2.17). Hierbei informierten die Unternehmensvertreter über die Möglichkeiten eines Praktikums, eines Studentenjobs oder über einen möglichen Einstieg ins Berufsleben. Kurzum, das Format könnte zu einer schönen Tradition an der FEIT werden.



Abbildung 2.17: Karrieremesse Career@EIT

Karrieremesse und „Ladies Night for Women in Engineering Sciences“²⁰

Was man im LEGO-Praktikum für Ideen entwickeln kann, zeigten Jonas und Adrian am 11. April zur Karrieremesse der „Ladies Night for Women in Engineering Sciences“ mit ihrem automatischen Cocktailmixer. Mit ihrem neuen, komplett selbstgebauten Modell („Blackbox“) trotzen sie den doch etwas kühlen Temperaturen und boten verschiedene Mixgetränke an (siehe Abbildung 2.18). Der Cocktailmixer saugt dabei die Zutaten mit insgesamt acht Peristaltikpumpen direkt aus den Flaschen an und vermischt alles in einem Trichter über dem Glas. Die Steuerung und Programmierung erfolgt über einen Arduino-Mikroprozessor.

Zeitgleich konnten die kleinen Ozobot-Roboter aus unserem Studienwerbungsprogramm selbst ausprobiert werden. Mitglieder der Fachschaft gaben gern Auskunft zur Fakultät, den Studiengängen und darüber, wie es sich so an der FEIT studiert. Neben Studierenden zählten auch SchülerInnen zur Zielgruppe der Karrieremesse, die im Rahmen einer kurzen Laborführung z. B. einen Einblick in die Absorberhalle des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit bekamen.

Abgeschlossen wurde die Ladies Night durch eine Abendveranstaltung im Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme im Wissenschaftshafen. Nach Grußworten u. a. von Mathias Magdowski zur Begeisterung von Mädchen in den Ingenieurwissenschaften durch MINT-Mitmach-Aktionen und Tage der offenen Labortür in der Experimentellen Fabrik sowie einem Vortrag von Prof. Steinmann vom Lehrstuhl für Messtechnik gab es für die TeilnehmerInnen

¹⁹ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

²⁰ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.18: Von Studenten der FEIT selbstgebauter Cocktailmixer „Blackbox“ bei der Karrieremesse und „Ladies Night for Women in Engineering Sciences“

viele Möglichkeiten zum Netzwerken und zum Erfahrungsaustausch zu wissenschaftlichen und überfachlichen Themen. Die Ladies Night fand bereits zum 6. Mal statt und wird voraussichtlich auch 2020 wieder Teil einer OVGU-Vortragsreihe zur Förderung des weiblichen wissenschaftlichen Nachwuchses sein.

Zukunftstag 2019 – Technisches Wissen praktisch und interessant vermittelt²¹

Mehr als 30 Schülerinnen und Schüler, 5 spannende Stationen und leider nur 3 Stunden Zeit – so könnte man den Zukunftstag am 29.03. kurz zusammenfassen. Mit eisbrechenden Kennlernspielen startete der Tag und danach konnte wieder erkundet werden, was hinter Magnetresonanz, Angiografie, Interferenzen und Ozobot-Robotern steckt (siehe Abbildung 2.19). Das Angebot der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik in der Experimentellen Fabrik zeigte wieder das breite Spektrum des Ingenieurwesens und der Medizintechnik. Vielleicht kommt der Eine oder Andere mal wieder vorbei oder studiert sogar später bei uns.



Abbildung 2.19: Zukunftstag 2019 – Technisches Wissen praktisch und interessant vermittelt

²¹ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

Was leitet Strom? im Internationalen Stiftungsgymnasium Magdeburg²²

Am Mittwoch, dem 06. Februar schlüpfen Eltern des Internationalen Stiftungsgymnasiums in der Agnetenstraße in Magdeburg in die Lehrerrolle, wechselten die Seite und unterrichten ihre Kinder. Dabei ging es neben Themen wie „Papierherstellung ist fast Zauberei“, „Musiker werden Musiker sein“ oder „Vom Profifußballer zum Mitarbeiter einer Krankenversicherung“ auch um die Frage „Welche Materialien leiten den elektrischen Strom?“.

Dazu experimentierten die SchülerInnen und Schüler unter der Anleitung von Mathias Magdowski vom Lehrstuhl für elektromagnetische Verträglichkeit mit Leuchtdioden, Batterien, Drähten und kleinen Steckbrettchen, aus denen eine Schaltung gebaut wurde, mit der verschiedenen Materialien auf ihre Leitfähigkeit getestet werden konnten. Die Ergebnisse ihrer Versuche protokollierten die SchülerInnen dann auf einem Arbeitsblatt. Die Elektrotechnik-Studenten Adrian Hegmann und Robert Göpfert unterstützten die SchülerInnen bei Problemen und beantworteten Fragen. Außerdem bastelten die SchülerInnen auch mit Elektrobaukästen, mit deren Hilfe z. B. eine Polizeisirene gebaut oder ein kleiner Propeller zum Fliegen gebracht werden konnte.

Mit dem Projekt „Eltern machen Schule“ nimmt das neu gegründete Stiftungsgymnasium in Magdeburg Alte-Neustadt die Tradition des „Career Day“ auf und erweitert die Idee im Sinne des lebenslangen Lernens und der Berufsorientierung. Eltern haben alle ihre Schule durchlebt, sicher Vieles für das aktuelle Berufsleben mitgenommen oder eben auch vermisst. Das Projekt zielt auf eine lebendige, lebensnahe Schule, die Spaß macht und den Sinn des Lernens in den Mittelpunkt stellt, der für die Schülerinnen und Schüler auch später in einem möglichen Studium an einer Fachhochschule oder Universität wichtig ist.



Abbildung 2.20: Was leitet Strom? im Internationalen Stiftungsgymnasium Magdeburg

Schule am Sonntag?²³

Etwas untypisch ist es schon, wenn SchülerInnen am Samstag freiwillig in die Schule kommen, aber am 02.02.2019 war Tag der offenen Tür am Lucas-Cranach-Gymnasium in Wittenberg. Im

²² von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²³ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

2 Studium und Lehre

Rahmen dieser Veranstaltung bot die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der OVGU einen Workshop an.

Unter dem Thema: „Ozobot, Sphero, Calliope & Co. mein Roboter macht was ich will“ lernten 12 Schüler und Schülerinnen der 10. und 12. Klassenstufe ein paar Grundlagen des Programmierens von Mikrocontrollern und kleinen Robotern (siehe Abbildung 2.21).

Hilfestellungen dazu gaben der Elektrotechnikstudent Vincent Szameitat und Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt. Nach einer kurzen Einleitung konnten die SchülerInnen eigene kreative Ideen umsetzen oder kleine Puzzle und knifflige Aufgaben lösen. So entstand z. B. ein kleines Piano oder auch ein tanzender Ozobot-Roboter.

Zur Auflockerung und zum sportlichen Abschluss wurde mit dem Sphero-Ball-Roboter eine interaktive spaßige Minigolfvariante gespielt.



Abbildung 2.21: Tag der offenen Tür am Lucas-Cranach-Gymnasium in Wittenberg

Convention KI & Wir zu künstlicher Intelligenz²⁴

Unter dem Motto „Künstliche Intelligenz selbst im Griff und selbst gesteuert“ konnten BesucherInnen der KI-Convention im Rahmen einer Mitmachwerkstatt am Stand des Lehrstuhls für EMV bei Dr.-Ing. Mathias Magdowski einen Smartibot ausprobieren, steuern und programmieren. Der Smartibot ein kleiner fahrbarer Roboter, dessen Körper hauptsächlich aus Pappe besteht und der per Bluetooth gesteuert werden kann. Dieser Roboter ist kommerziell erhältlich und wird im Rahmen von Workshops für SchülerInnen und in MINT-Studienwerbeaktionen an der OVGU eingesetzt.

Zunächst konnten die BesucherInnen den Roboter mit Hilfe einer einfachen Controller-Oberfläche auf einem Tablet selbst wie ein ferngesteuertes Auto steuern, um ein Gefühl für dessen Fahreigenschaften zu bekommen. Wirklich „smart“ wird der Roboter aber erst durch ein Smartphone und dessen Kamera, das der Roboter wie einen Rucksack huckepack trägt und das ihm als „Gehirn“ und „Auge“ dient. Mittels künstlicher Intelligenz kann er dann z.B. Personen, Tiere, Fahrzeuge, Lebensmittel, Spielzeuge und Alltagsgegenstände erkennen.

Durch die Bilderkennung und mittels entsprechender Programmierung kann der Roboter nun etwa einer Person hinterherfahren, einem Hund davonfahren oder einen Gegenstand von einem Ort zum anderen transportieren. Die eigentliche Programmierung erfolgt dann quelltextbasiert in Java-Script oder auch grafisch über Blöcke.

²⁴von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Der Mitmach-Stand war aufgrund des niederschweligen Zugangs jederzeit gut besucht (siehe Abbildung 2.22) und warf bei den BesucherInnen viele Fragen auf. Am Sonntag wurde Mathias Magdowski bei der Standbetreuung auch tatkräftig von Medizintechnik-Studentin Darya bei der Vorstellung und Erklärung des Smartibots unterstützt.

Außerdem nahm Dr.-Ing. Mathias Magdowski am Sonntag zusammen mit Prof. Dr. Julia Arlinghaus vom Fraunhofer IFF Magdeburg, Simon Grambau vom Science2public e.V. Halle/Saale und Prof. Dominik Schumacher von der Hochschule Magdeburg-Stendal beim Talk am Mittag zum Thema „KI und Wir – in Theorie und Praxis. Was läuft bei uns in der Region?“ teil. Im Gespräch ging es um die Aktivitäten in Magdeburg und Halle, MINT und Gender sowie die regionale und internationale Vernetzung.



Abbildung 2.22: Mitmach-Stand „Künstliche Intelligenz selbst im Griff und selbst gesteuert“ bei der Convention KI & Wir

Berufebörse an der Neuen Schule in Magdeburg²⁵

Am Freitag, den 22. Februar lud die „Neue Schule“ in Magdeburg zu einer Berufebörse für ihre Schülerinnen und Schüler ab der 8. Klassenstufe ein. Die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik war mit einem Stand vertreten, der hauptsächlich von Studierenden betreut wurde, die ihre eigenen Entwicklungen aus dem gerade abgeschlossenen LEGO-Praktikum vorstellten. Dazu gehörten ein automatischer Cocktail-Mixer, ein Farbsortierer, ein Vier-Gewinnt-Roboter und ein Bildstanzer für Blumensteckmasse (siehe Abbildung 2.23).

Tag der offenen Labortür für eine 1. Klasse der Grundschule Bertolt Brecht aus Magdeburg²⁶

Warum muss ein Stromkreis immer geschlossen sein? Wie kann man einen kleinen Roboter über ein Handy steuern? Wie sieht Obst von innen aus, wenn man es in einem MRT-Gerät

²⁵ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²⁶ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.23: Berufebörse an der Neuen Schule in Magdeburg

„durchleuchtet“? Wie werden Funkwellen von einer Fernbedienung zu einem Spielzeugauto übertragen? Wie kann man Nachrichten mit Morsezeichen kodieren?

Diesen und ähnlichen Fragen gingen 21 SchülerInnen einer ersten Klasse der Grundschule „Bertolt Brecht“ aus Magdeburg nach, die am Freitag, den 25. Oktober zu einem „Tag der offenen Labortür“ in die Experimentelle Fabrik eingeladen waren. Dort experimentieren die Kinder in Dreier- und Viergruppen an interaktiven MINT-Mitmachstationen zu folgenden Themen:

- Was sind Interferenzen? Wir erklären wie ein ferngesteuertes Auto funktioniert, warum sich manche Fernbedienungen gegenseitig beeinflussen und was man dagegen tun kann.
- Wie bitte? Wir zeigen, wie man Nachrichten mit Hilfe eines Morse-Codes verschlüsseln und übertragen kann. Die Kinder können sich dann gegenseitig eine Nachricht schicken (siehe Abbildung 2.24).
- Elektrobaukasten: Auf einem Steckbrett können die Kinder eine einfache Schaltung zusammenbauen, die z. B. eine Melodie spielt oder einen kleinen Propeller fliegen lässt.
- Früchte-Memory: Die Kinder versuchen Schnittbilder von Früchten aus einem MRT oder einem Röntgengerät den entsprechenden echten Früchten zuzuordnen.
- Sphero: Dieser Roboter in Kugelform ist etwa so groß wie ein Tischtennisball, steckt aber voller Technik. Zwei Motoren, ein Akku, farbige LEDs und ein Fernsteuermodul ermöglichen den Sphero z. B. per Smartphone zu steuern.
- Flugzeuge bauen: Wir bauen kleine Segelflugzeuge aus Papier und schauen welches am weitesten fliegt.

Die Stationen wurden von Studierenden und Mitarbeitern intensiv betreut, die den Kindern aber möglichst viel Freiraum für eigene Experimentierideen ließen. Da nicht alle Kinder an allen Stationen waren, bot sich für die Kinder im Anschluss die Möglichkeit, sich in einer Austauschrunde jeweils gegenseitig von ihren Erlebnissen und Erkenntnissen zu berichten.

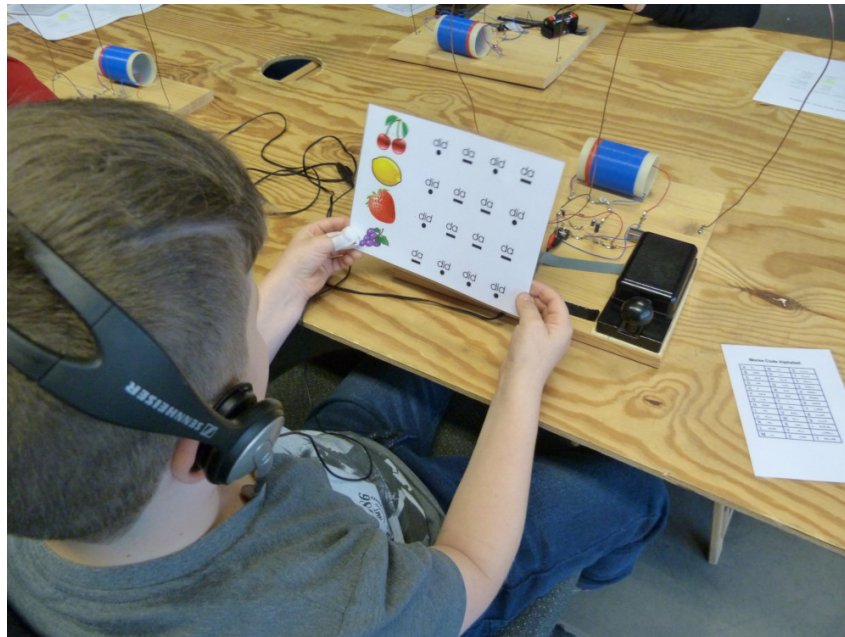


Abbildung 2.24: Kinder der Grundschule Bertolt Brecht aus Magdeburg senden sich gegenseitig Nachrichten per Morse-Codes

Die Idee solcher Aktionen ist, Kindern und Jugendlichen aller Altersstufen die Berührungspunkte vor MINT-Themen zu nehmen und zu zeigen, dass die Beschäftigung mit der Elektro- und Medizintechnik auch sehr spannend, aufregend, interessant und witzig sein kann. Die Parallelklassen der Grundschule besuchen die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik zu weiteren Tagen der offenen Labortür am Vormittag des 7. und 8. November. Weiterhin besuchten uns folgende weitere Einrichtungen zu einem Tag der offenen Labortür mit ähnlichen Mitmachstationen:

- Klasse 8a des Editha-Gymnasiums aus Magdeburg am Freitag, den 08. März 2019
- Klasse 8b des Editha-Gymnasiums aus Magdeburg am Freitag, den 15. März 2019
- Klasse 8c des Editha-Gymnasiums aus Magdeburg am Freitag, den 22. März 2019
- 1. Klassen der Dreisprachigen Internationalen Grundschule Magdeburg am Donnerstag, den 27. Juni 2019
- 3. Klasse der Dreisprachigen Internationalen Grundschule Magdeburg am Freitag, den 28. Juni 2019
- 8. Klasse der Internatsschule Hadmersleben aus Oschersleben am Montag, den 01. Juli 2019
- Campusferien für Grundschulkindern am Mittwoch, den 10. Juli 2019
- Campusferien für Grundschulkindern am Mittwoch, den 17. Juli 2019
- Familienhaus im Nordpark am Freitag, den 19. Juli 2019

2.5.5 Preise

Erfolg für drei Studenten der OVGU beim Student Contest 2018 des IEEE German EMC Chapters²⁷

Ein herzlicher Glückwunsch geht an die Medizintechnik- und Elektrotechnik-Studenten Markus Bäcker, Steven Bernick und Kevin Ladentin von der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg für den Erfolg beim „Electromagnetic

²⁷ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

2 Studium und Lehre

Compatibility Student Contest“ des deutschen EMV-Chapters im Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Im Wettbewerb ging es darum, einen Abwärtsschaltwandler für den Einsatz im Automobilbereich so zu gestalten und auszulegen, dass dieser möglichst wenig elektromagnetische Störungen verursacht. Solche Spannungswandler werden vielfältig eingesetzt (z. B. um Smartphones mit 5 V-Ladespannung aus der Autobatterie bzw. dem Zigarettenanzünder mit 12 V-Versorgungsspannung aufzuladen) und können andere empfindliche Geräte im Auto (wie z. B. den Radioempfang) stören. Auf Grund der hohen Praxisrelevanz der Thematik wurde der Wettbewerb in Kooperation mit der IAV GmbH ausgerichtet.

Die Magdeburger Studenten wurde für ihre Entwicklungen mit dem „2018 EMC-Student-Contest-Winner Award“ und dem „2018 EMC-Student-Contest-Runner-Up Award“ ausgezeichnet. Die Arbeit am Wettbewerb fand hauptsächlich im Sommersemester 2018 im Rahmen der Lehrveranstaltung „EMV-Messtechnik“ bzw. eines Forschungsprojekts am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) statt. Alle drei Studenten wurden dabei von Dr.-Ing. Mathias Magdowski betreut.



Abbildung 2.25: Preisverleihung des Student Contest 2018 des IEEE German EMC Chapters auf EMV 2019 in Stuttgart (Fotos: Jens Werner, Jade Hochschule Wilhelmshaven)

Die Preisverleihung fand auf EMV 2019 in Stuttgart statt (siehe Abbildung 2.25). Im Rahmen dieser internationalen Fachmesse mit Workshops zur elektromagnetische Verträglichkeit hatten die Studierenden auch die Möglichkeit, sich mit weiteren Industrievertretern und EMV-Experten auszutauschen.

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.

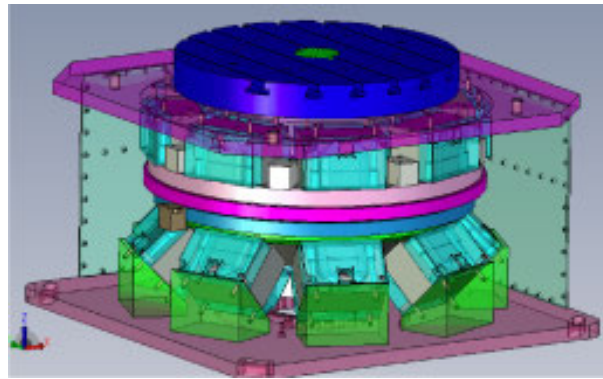


Abbildung 3.1: Magnetisch gelagerter Rundtisch

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.

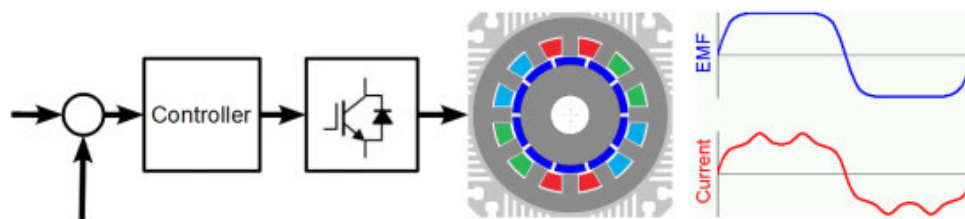


Abbildung 3.2: Regelung von Maschinen nicht sinusförmiger elektromotorischer Kraft

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

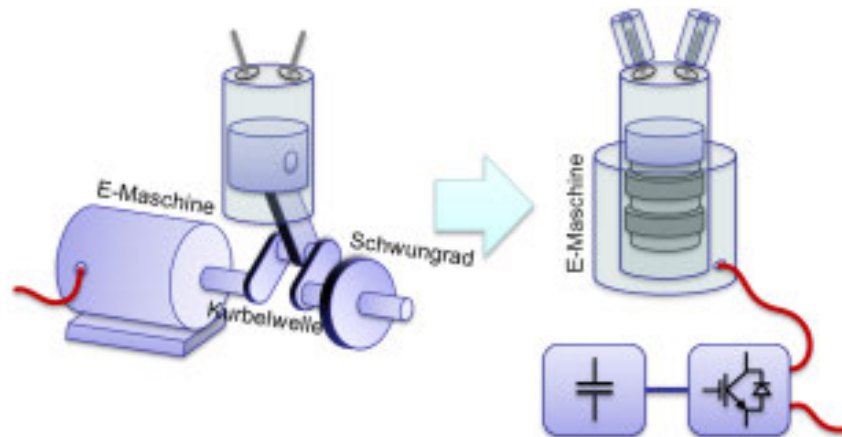


Abbildung 3.3: Einsatz von elektrischen Linearmaschinen bei Verbrennungsmotoren

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.

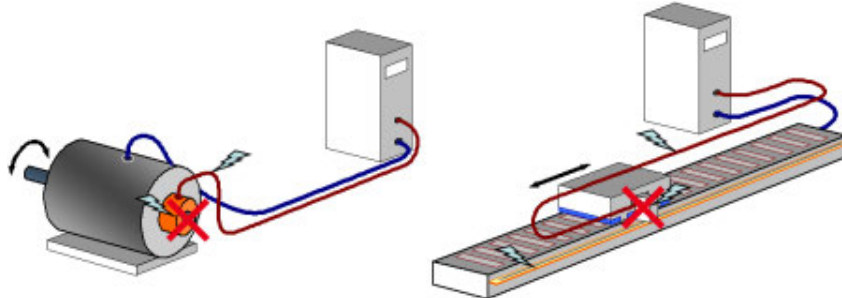


Abbildung 3.4: Sensorlose Regelung elektrischer Maschinen

3.1.2 Forschungsprojekte

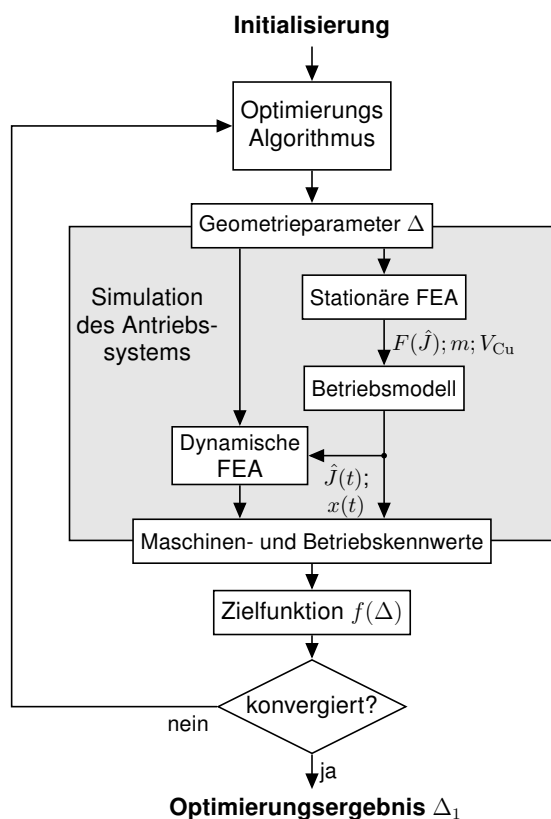
Auslegungsprinzipien für elektrische Linearmaschinen um Verlustleistung bei periodischen Bewegungen zu minimieren.¹

Im Rahmen dieses Projektes ist ein Konzept für die Auslegung von elektrischen Linearmaschinen entstanden, die für einen Betrieb bei zyklischen Bewegungen vorgesehen sind. Die Herausforderung bei diesen Anwendungen sind die aktiven Beschleunigungsvorgänge. Dies ist eine Arbeitsweise, die in bisherigen Auslegungen von elektrischen Linearmaschinen für effiziente Energieumwandlungen nicht betrachtet wurde. Traditionell werden elektrische Maschinen anhand von festen Arbeitspunkten ausgelegt, die durch eine konstante Geschwindigkeit und Belastung definiert sind. Die Dimensionierung erfolgt in solchen Fällen auf Grundlage der von der Maschine umgesetzten

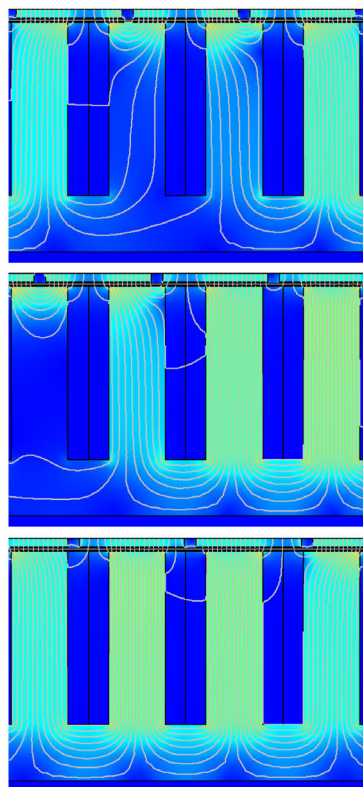
¹von M. Sc. Sebastian Benecke, Dipl.-Ing. Andreas Gerlach und Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

Leistung. Ist jedoch eine Beschleunigung zu absolvieren, hat die Größe der Maschine gleichzeitig einen großen Einfluss auf die benötigte Leistung, um die Masse in Bewegung zu versetzen.

Die Dimensionierung der Maschine mit Hinblick auf den Wirkungsgrad muss deswegen mit Hinblick auf bestimmte Bewegungsparameter durchgeführt werden. Dieser Zusammenhang wurde auf Grundlage der Formeln für die Kupfer- und Eisenverluste analytisch hergeleitet. Die Maschinencharakteristiken, die von verschiedenen Geometrieparametern abhängen und ebenfalls einen großen Einfluss auf die Verluste haben, können mittel numerischer FEM-Simulation ermittelt werden. Um das Verhalten der Maschine für einen bestimmten Bewegungsablauf möglichst genau nachzubilden, wurden verschiedene Modelle zur Beschreibung des Antriebssystems in dem Auslegungsverfahren integriert. Abbildung 3.5 gibt einen Überblick über den prinzipiellen Ablauf einer Optimierung.



(a) Optimierungsalgorithmus



(b) Simulierter Verlauf des magnetischen Feldes während der Bewegung

Abbildung 3.5: Entwickeltes Optimierungsverfahren für Linearmaschinen

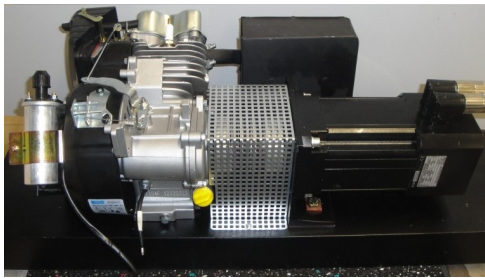
Energy Management of a Power Unit Without a Throttle Actuator to Supply a Grid ²

Supplying a grid in island operation and reacting to dynamic energy demands requires reliable control of the output voltage of the power plant. Forth sake of efficiency power units with internal combustion engines (ICE) operates with variable speed while supplying the grid through a back-to-back converter. The experimental prototype is shown in Fig. 3.6a. The problem of such operation mode is the necessary acceleration to achieve a higher output power. This leads to a drop in output power and possibly grid voltage when changing the operating point. This research topic presents the control structure of an ICE, whose power is controlled without a throttle

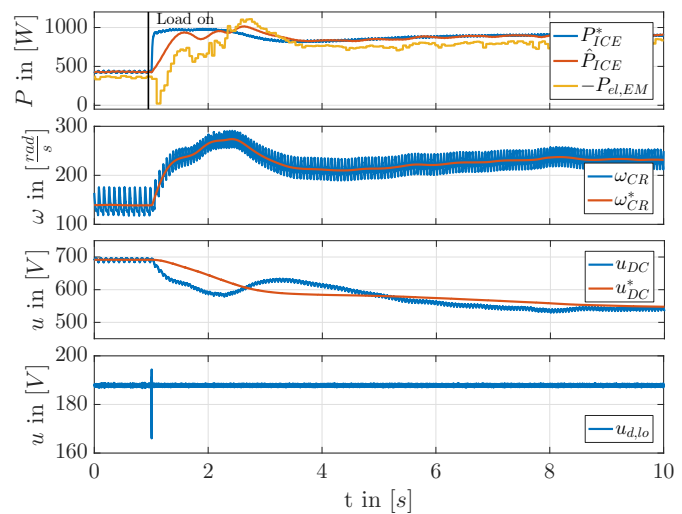
²Authors: Dipl.-Ing. Andreas Gerlach, M. Sc. Sebastian Benecke and Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

actuator to reduce gas exchange losses, directly coupled to an electric generator, connected to a back to back converter. One inverter is used to control the grid voltage and a second one to control the electric machine. The inverters share the DC-link capacitor, giving the ability to supply or store energy from both systems. The capacitor bank can be designed to overcome the power drop when the power demand is increased. The DC-link voltage is controlled without additional power electronic components.

The proposed control structure was verified with a resistive load. The step response is shown in Fig. 3.6b. The experiment was started at a load of about $P_{ICE} = 450\text{W}$ and was set to $P_{ICE} = 900\text{W}$ after one second. The speed has to be increased from $\omega_{CR} = 138 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ to stationary $\omega_{CR} = 230 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. For a short time the maximum speed $\omega_{CR} = 273 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ was required to charge the capacitor bank. The measured speed ω_{CR} oscillates due to the high peak torque of the combustion engine so that the speed controller regulates the mean speed. At about $t = 2.2\text{s}$, it is possible to generate enough electric power to compensate the load power.



(a) Prototype of the power unit



(b) Load step response with a well designed DC-link capacitor

Figure 3.6: Energy management of a power unit without a throttle actuator to supply a grid

Roboterfische gegen Fischversuche³

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg arbeiten in den kommenden drei Jahren daran, vom Gesetzgeber geforderte Tierversuche in europäischen Wasserkraftwerken künftig durch Roboterfische zu ersetzen (siehe Abbildung 3.7). Die künstlichen Ersatzfische sollen Informationen über Strömungsbedingungen und zu erwartende Schädigungen von Fischen in europäischen Flusskraftwerken geben. Bisher werden laut Datenbank des Bundesinstituts für Risikobewertung an Wasserkraftwerken Tierversuche mit jährlich bis zu 450 000 Fischen durchgeführt, um deren Passage von Turbinen zu evaluieren und so die Fischverträglichkeit der Anlage zu testen.

Ziel des ab März 2019 mit 1,4 Millionen Euro vom Bund geförderten Forschungsprojektes „Reduktion von Tierversuchen zum Schädigungsrisiko bei Turbinenpassagen durch Einsatz von Roboterfischen, Strömungssimulationen und Vorhersagemodellen (RETERO)“ ist es, teilautonome Robotersysteme und Simulationsmodelle zu entwickeln, die den Einsatz lebender Fische für Gutachten reduzieren und langfristig vermeiden sollen.

³von M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh, M. Sc. Stefan Hörner, Prof. Roberto Leidhold



Abbildung 3.7: RETERO-Team

Forschung interdisziplinär und international

Der interdisziplinäre Forschungsverbund verknüpft Kompetenzen aus Biologie, Ethohydraulik, Wasserbau, Strömungsmechanik, Leistungs-, Mikroelektronik und Informationstechnik. Projektpartner der Universität Magdeburg sind das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden, das Institut für Gewässerökologie und Fischereibiologie Jena und das Unternehmen SJE Ecohydraulic Engineering GmbH in Stuttgart. Ein weiterer internationaler Partner ist das Centre for Biorobotics der Technischen Universität Tallin in Estland.

„Die Behörden schreiben aufgrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie vor, für Wasserkraftanlagen an Fließgewässern per Gutachten nachzuweisen, dass die Anlagen für Fische und andere Flussfauna passierbar sind“, erläutert Stefan Hoerner vom Institut für Thermodynamik und Strömungsmechanik der Universität Magdeburg. „Dafür wurden allein 2015 450 000 Fische, meist aus Wildfängen, eingesetzt.“ Für die Tiere bedeute das extremen Stress und die Mortalität liegt – wenn es sehr gut läuft – bei rund 10 Prozent.

„Der Gesetzgeber sieht zwar Fischschutzsysteme an Wasserkraftwerken vor, diese sind aber häufig nicht voll funktionsfähig und es fehlen geeignete Abstiegsalternativen, so dass noch immer sehr viele Fische den Weg über die Turbine in das Unterwasser nehmen“, so der Strömungsmechaniker und Elektroingenieur weiter. „Darüber hinaus sitzen an den Anlagen mit Vorliebe Raubfische oder Reiher und warten auf unkompliziert zu jagende Beute.“

Bis zum Jahr 2022 wollen Stefan Hoerner und sein Team gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Elektrische Energiesysteme der Universität elektronische „Ersatzfische“ entwickeln, die sich arttypisch verhalten. Notwendige Daten für die Simulation fischgerechten Verhaltens der autonomen Robotersysteme liefern Testläufe von mit Sensoren ausgestatteten lebenden Fischen. Auch die künftigen Roboterfische werden eine Fülle an Druck- und Beschleunigungssensoren besitzen. Die damit bei ihrem Einsatz in Wasserkraftwerken erfassten Daten erlauben es den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern dann, ohne Tierversuche Vorhersagen und Hochrechnungen zu Schädigungsrisiken zu treffen (siehe Abbildung 3.8).

Hintergrund: Wasserkraft als älteste und größte regenerative Energiequelle deckt laut Informationen der Bundesregierung global ungefähr 16 Prozent der Stromproduktion ab. Allein in Deutschland gibt es 7000 kleinere und 400 große Laufwasserkraftwerke, die die Wanderkorridore

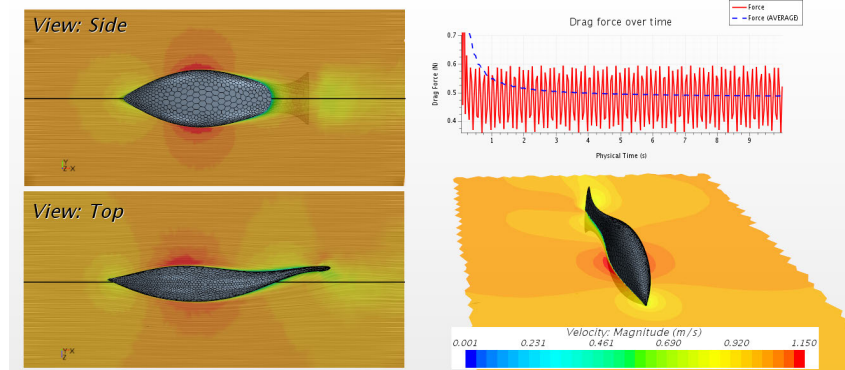


Abbildung 3.8: Numerische Untersuchung der auf den Roboterfisch wirkenden hydrodynamischen Kräfte. Diese dienen der Abschätzung der erforderlichen Leistungsfähigkeit des Antriebssystems.

der Fische unterbrechen. Neben den bekannten Arten wie Aal und Lachs migrieren nahezu alle Fische zumindest innerhalb der Flüsse, um sich fortzupflanzen oder zwischen Teillebensräumen zu wechseln. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre nationale Umsetzung, das Wasserhaushaltsgesetz und die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie fordern, die Durchgängigkeit aller Fließgewässer wiederherzustellen. Betreiber von Wasserkraftwerken müssen nachweisen, dass sie die Fischpopulationen nicht nachhaltig schädigen nicht verhindern.

An der Universität Magdeburg wird bereits seit mehreren Jahren an ökologisch verträglichen Wasserkraftlösungen im Rahmen des Wachstumskerns „FlussStromPlus“ geforscht.

Forschungsprojekt Ringsegmentgenerator (RING-GEN)⁴

Im Rahmen des Forschungsprojektes RING-GEN wird am Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme in Zusammenarbeit mit den mittelständischen Unternehmen Gräber Feinwerktechnik GmbH und Hesseland GmbH ein Ringsegmentgenerator für ein Klappschaufelwasserrad (siehe Abbildung 3.9) entwickelt. Die Entwicklung, die Auslegung und die Tests des Labormusters erfolgen auf Seite des Lehrstuhls, während die Konstruktion, die Prototypenfertigung und die Integration des Generators in die Anlage von den externen Projektpartnern übernommen werden. Das Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, einen möglichst energieeffizienten und skalierbaren Generator-Prototyp zu fertigen, der eine grundlastfähige regenerative Energieerzeugung durch Wasserkraft ermöglicht.

Während der Projektlaufzeit vom 01.01.19 bis 30.06.21 ist im Projekt vorgesehen die folgenden Meilensteine zu bearbeiten:

- Auswahl und Bewertung einer optimalen Konstruktionsvariante
- Optimierung der Generatorauslegung und -konstruktion
- Inbetriebnahme der elektrischen Komponenten und Prototypentest
- Auswertung der Ergebnisse und Projektabschluss

Zum Projektstart wurde eine bestehende Versuchsanlage mit Ringsegmentgenerator (siehe Abbildung 3.10) als Ausgangspunkt messtechnisch untersucht, um Schwachstellen zu erkennen und Optimierungsmöglichkeiten abzuleiten, die im laufenden Projekt für die Entwicklung einer neuartigen Generatorkonstruktion Berücksichtigung finden sollen.

⁴von Dr. Mario Stamann

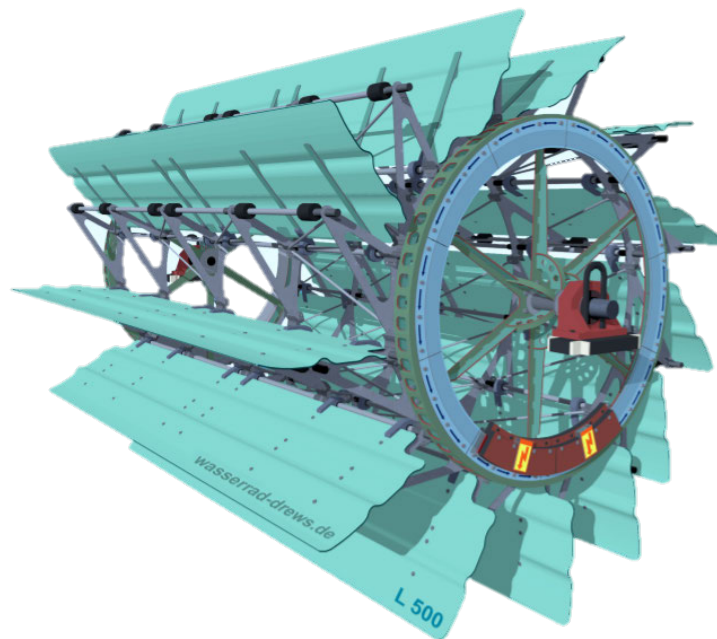


Abbildung 3.9: Drew'sches Klappschaufelwasserrad mit integriertem Ringsegmentgenerator

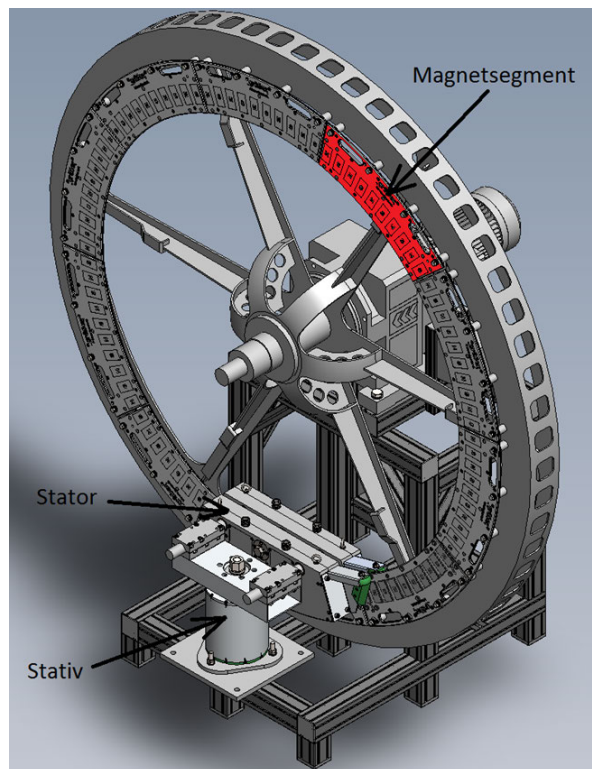


Abbildung 3.10: Versuchsstand mit Ringsegmentgenerator

Das Hauptproblem der freiliegenden Permanentmagnete des Rotors bzw. des Radkranzes mit einem Durchmesser von zwei ca. Metern ist die unvermeidliche Anhaftung von magnetisch leitenden Stoffen aus der Umgebung am Rotorkranz. Die Kapselung der Magnete im Rotor ist kostenintensiv, vergrößert den minimal möglichen Luftspalt und löst die Problematik nur unzureichend. Abhilfe schafft eine neuartige Generator konstruktion in Segmentbauweise als flussgeschaltete permanenterregte Synchronmaschine, bei der sich die Permanentmagnete im Stator befinden. Abbildung 3.11 zeigt das Simulationsmodell in Linearanordnung.

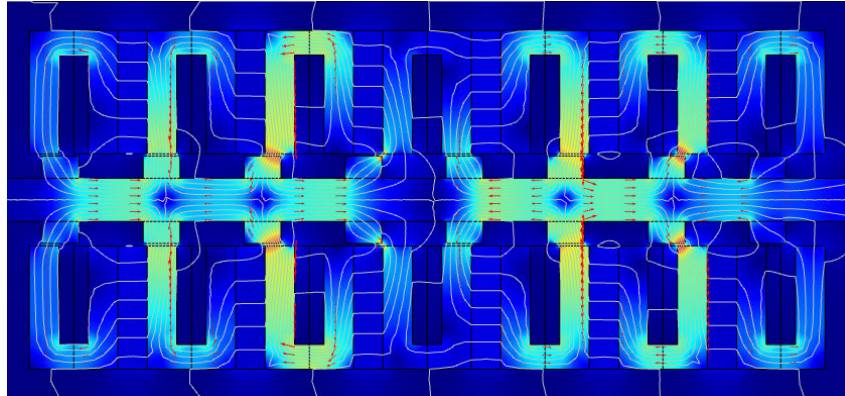


Abbildung 3.11: Finite-Elemente-Simulationsmodell der flussgeschalteten permanenterregten Synchronmaschine

Mit dieser Konstruktionsvariante ist es möglich weniger und auch kostengünstigere Ferritmagnete mit einer Remanenz von ca. 0,4 T einzusetzen. Nachteilig wirken sich jedoch die höheren Rastkräfte aus, die bei Bedarf durch eine angepasste Ansteuerung der Maschine im Wechselrichterbetrieb reduzierbar sind. Abbildung 3.12 zeigt die berechneten Kraftverläufe, wodurch eine Abschätzung des Sättigungsverhaltens und der zu erwartenden Rastkräfte möglich ist.

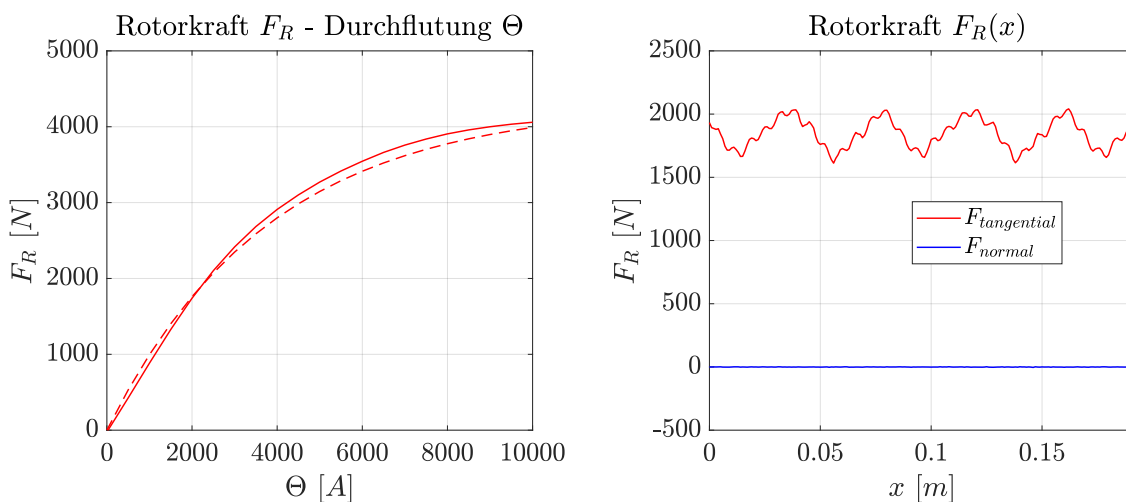


Abbildung 3.12: Sättigungsverhalten und Kraftverlauf der Labormusterkonstruktion

Abbildung 3.13 zeigt das CAD-Modell der Konstruktion des Labormusters in Linearanordnung. Dieses Labormuster dient zur Verifikation der Simulationsergebnisse in Abbildung 3.12 und bildet die Basis zur weiteren Entwicklung des Generatorprototypen in Segmentbauweise.

Im weiteren Projektverlauf ist geplant den im Wasserrad integrierten Prototypen auf dem Forschungsversuchsträger „Vector“ zu testen, um anschließend einen Dauerbetriebstest an einem Referenzstandort durchführen zu können.

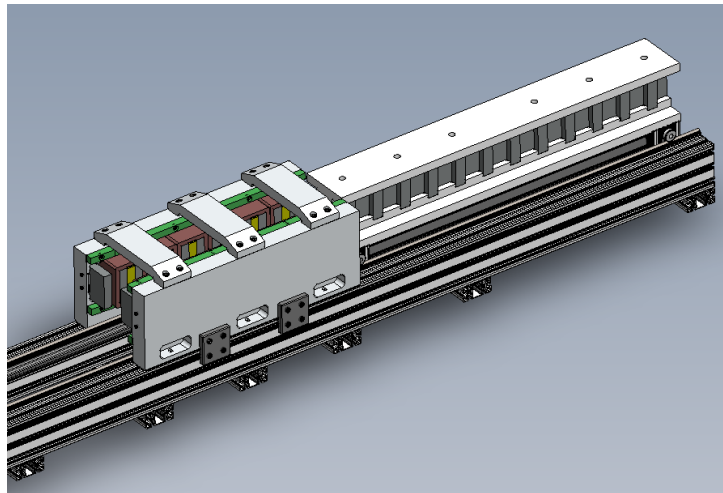


Abbildung 3.13: CAD-Zeichnung des Labormusters in Linearanordnung

Gründungsprojekt Smela – Smart Electric Actuators⁵

Die Smela-Linearaktuatoren adressieren Anwendungen zum Fixieren, Verstellen, Arretieren und Abfahren beliebiger Bewegungsprofile. Damit sind sie einsetzbar für einfache bis komplexe Mobilitätsanwendungen in Fertigungsstraßen, Werkzeugmaschinen oder der Logistik. Fast alle industriell gefertigten Produkte – Smartphones, Fahrzeuge, sämtliche verpackte und abgefüllte Lebensmittel – haben während des Produktionszyklus einige lineare Bewegungen erfahren. Bisher werden die Bewegungen vorrangig mit pneumatischen Aktuatoren realisiert, bei denen die Kraft durch Druckluft erzeugt wird. Dabei gehen bis zu 95 % der Energie verloren. Außerdem führt die komplexe Druckluftinfrastruktur zu einem hohen Wartungsaufwand.

Die Smela-Linearaktuatoren (siehe Abbildung 3.14) stellen ein ganzheitlich optimiertes mechatronisches System dar, bestehend aus einer elektrischen Maschine, der Mechanik, integrierter Sensorik, einer Leistungs- und Steuerelektronik und intelligenten Regelalgorithmen. Die teleskopierbare Anordnung der zueinander koaxial liegenden mechanischen und elektrischen Komponenten erlaubt eine Verschachtelung des Stößels ohne Abstriche von Motorleistung und Kraft und bewirkt somit ein sehr günstiges Verhältnis des Fahrweges zur Gesamtlänge. Dies ermöglicht eine kompakte und rein elektrische Alternative, welche mehr als 75 % der Energiekosten einspart und zudem bis zu sechsfach kompakter als bisherige elektrische Alternativen ist. Sämtliche Komponenten des Systems sind aufeinander abgestimmt.

Drei Prototypen verschiedener Leistungsdaten, welche die Erwartungen hinsichtlich Charakteristik und Belastungstests erfüllt haben wurden realisiert. Eine Kleinserie (12 Stück) wird aktuell bei einem Pilotkunden getestet. Zur Umsetzung der Pilottests, Planung von Serienabläufen und Erstellung des Businessplans erhält das Gründungsprojekt seit Juni 2019 das EXIST-Gründerstipendium.

⁵Benjamin Horn, Dr.-Ing. Denis Draganov, Oleksandr Tyshakin

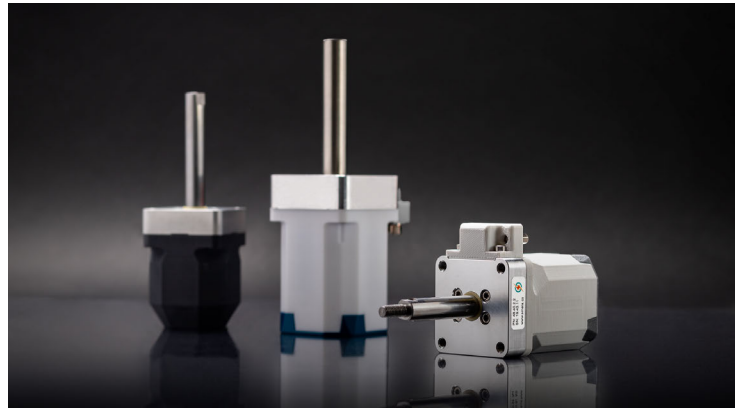
Betreut vom Transfer- und Gründerzentrum der OVGU und dem Mentor Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold



Das Vorhaben „Smarte Elektrische Antriebe (Smela)“ wird im Rahmen des EXIST-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und den Europäischen Sozialfonds gefördert.
www.smela.co | info@smela.co



(a) Prototyp 2 als Gewichtheber: der nicht einmal faustgroße Aktuator schafft 30 kg bzw. 300 N zu stemmen



(b) Prototyp 2 und 3 sowie das Pilotserienmodell

Abbildung 3.14: Prototypen und Pilotserienmodell des Gründungsprojekts Smela

3.1.3 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] A. Kiselev, G. Catuogno, A. Kuznietsov und R. Leidhold, „Finite control set mpc for open phase fault tolerant control of pm synchronous motor drives“, *IEEE transactions on industrial electronics - New York, NY: IEEE, S. 1-9, 2019;*, 2019.
- [2] S. Benecke, A. Gerlach und R. Leidhold, „Design principle for linear electrical machines to minimize power loss in periodic motions“, in *12th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications*, 2019.
- [3] S. Abbaszadeh, S. Hoerner, T. Maître und R. Leidhold, „Experimental investigation of an optimised pitch control for a vertical-axis turbine“, *Journal of IET Renewable Power Generation*, 2019.
- [4] A. Masliennikov, A. Yehorov, O. Duniev, R. Leidhold, M. Stamann und S. Hieke, „The magnetic system analysis of the transverse flux machine and its improvement“, in *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) - [Piscataway, NJ]: IEEE, S. 552-555;*, 2019.
- [5] A. Gerlach, M. Fritsch, S. Benecke, H. Rottengruber und R. Leidhold, „Variable valve timing with only one camshaft actuator for a single-cylinder engine“, *IEEE ASME transactions on mechatronics - New York, NY: IEEE, Bd. 24.2019, 4, S. 1839-1850;*, 2019.

Dissertationen und Bücher

- [1] R. Kasper, U. Gabbert, K.-H. Grote, R. Leidhold, A. Lindemann, M. Scheffler und M. Klaeger, Hrsg., *14. Magdeburger Maschinenbau-Tage 2019 - Magdeburger Ingenieurtag - 24. und 25. September 2019, Tagungsband*. Kasper, Roland u. a., 2019.
- [2] T. Schallschmidt und R. Leidhold, „Elektrische Maschinen“, in *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen – vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb*, H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Hrsg., Ser. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019, S. 41–52, auch als eBook verfügbar, ISBN: 978-3-662-60355-0/978-3-662-60356-7. DOI: 10.1007/978-3-662-60356-7.

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

Ermittlung des stationären Blindleistungskompensationsbedarfs⁶

Der Wandel in der Energieerzeugungsstruktur sowie der grenzüberschreitende Stromhandel sorgen für eine zunehmende Belastung des Übertragungsnetzes. Vor allem in Deutschland gibt es ein hohes Transitaufkommen als Folge der hohen Distanz zwischen Erzeugungszentren im Norden und Verbraucherzentren im Süden und Westen Deutschlands. Der stark fluktuierende

⁶von M. Sc. Marc Gebhardt

Charakter bringt stark und schnell schwankende Netznutzungssituationen mit sich. Als Folge kommt es unter anderem zu häufigen Änderungen der Spannung, die zu spannungsbezogenen Grenzwertverletzungen bis hin zu einer Spannungsinstabilität des elektrischen Netzes und zu spannungsbezogenen Grenzwertverletzungen führen können.

Um dem entgegen zu wirken, werden Blindleistungskompensationsanlagen eingesetzt. Dabei ist sicherzustellen, dass die Spannungshaltung nicht nur im $(n - 0)$ -Fall, sondern auch in Ausfallsituationen gehalten werden kann. Um den Bedarf jederzeit sicherzustellen, ist somit die Vorhaltung einer hinreichenden Kapazität erforderlich. Dabei muss zudem sichergestellt werden, dass die Anlagen sinnvoll im Netz platziert werden, um den größtmöglichen Einfluss auf die Spannung zu gewährleisten. Dies minimiert den Blindleistungskompensationsbedarf und maximiert somit die vorhandene Wirkleistungsübertragungsfähigkeit.

Es wird hierzu eine Methodik entwickelt, die einen optimalen Abruf bereits bestehender Blindleistungsreserven gewährleistet und die zusätzlich notwendige Installation weiterer Kompensationsmittel minimiert. Dieser Algorithmus basiert auf einer gemischt ganzzahligen linearen Optimierung, die vordefinierte Spannungsgrenzen und die technischen sowie ökonomischen Nebenbedingungen unterschiedlicher Kompensationsmittel betrachtet. Ziel ist es, den über das Startnetz hinausgehenden Bedarf an stationären kapazitiven oder induktiven Kompensationsmitteln für den Zeitbereich 2022/2023 angelehnt an die Randbedingungen aus den Systemanalysen gemäß Netzreserveverordnung zu ermitteln.

E-Mobility 4 Grid Service⁷

Das Projekt *EMo4GS* wurde Mitte des letzten Jahres bewilligt. Dabei hat der LENA-Lehrstuhl planmäßig laut Arbeitsplan mit der Arbeit begonnen. Die geplante Projektlaufzeit endet am 31.05.2021. Die Mittel stammen aus dem Klima II Richtlinie des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung. Projektpartner sind der EMV-Lehrstuhl, das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF sowie Krebs'engineers GmbH.

Der Lehrstuhl LENA beschäftigt sich im ersten Schritt schwerpunktmäßig simulativ mit der Berechnung von elektrischen Netzen mit Hilfe einer unsymmetrischen Lastflussberechnung und der Integration der Elektromobilität. Mit den Ergebnissen kann der Zustand des Netzes bestimmt, Über- bzw. Unterschreitungen der Sollwerte identifiziert und Einflussgrößen bestimmt werden.

Im zweiten Schritt werden Algorithmen entwickelt, um die in den Elektrofahrzeugen integrierten Speichersysteme netzstützend, im Sinne vom Grid Services (Vehicle for Grid), einzusetzen. Auf Grundlage von Optimierungsansätzen werden Betriebsstrategien abgeleitet. In Kooperation mit dem Fraunhofer IFF können die entwickelten Algorithmen in effizienten Systemkomponenten umgesetzt werden.

Die wissenschaftlichen Arbeiten am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit konzentrieren sich auf die EMV-Analyse und Modellierung komplexer Systeme, die Umsetzung standardisierter sowie die Entwicklung neuer EMV-, Mess- und Prüfverfahren und die Modellierung von Power Quality Phänomenen unter anderem auf Laborebene.

Das Fraunhofer IFF trägt Kompetenzen im Bereich der Entwicklung von System- und Steuerungsarchitektur sowie der Planung und Entwicklung geeigneter Kommunikationsinfrastrukturen bei. Für die spezifischen Services sind die notwendigen Systemanforderungen sowie die benötigte IKT-Struktur und Systemkomponenten inklusive Schnittstellen zu entwickeln. Diese Komponenten, bestehend aus IKT-Modul und Leistungselektronikeinheit, ermöglichen erst die praktische Realisierung im Feldtest.

⁷ von M. Sc. Sebastian Helm

Die Krebs‘engineers GmbH entwickelt, konstruiert und fertigt die Hardware und die mit ihr verbundene eingebettete Software der Ladesysteme sowie die Schnittstellen für System und Komponenten. Darin enthalten ist der Aufbau von Messsystemen, der Testumgebung, Versuchsträger für Testszenarien zur Evaluation der Soft- und Hardware sowie die Ertüchtigung der Elektrofahrzeuge für Feldtests. Auf dieser Grundlage werden die Ladesysteme für den speziellen Anwendungsfall bzw. die benötigten Netzdienstleistungen konfiguriert. Nach den vorgegebenen Spezifikationen werden die Schnittstellen des Ladesystems ausgelegt, um die Einbindung in das umgebende System zu realisieren.

GleichMorgen⁸

Im aktuellen Netzentwicklungsplan sind in allen vier Szenarien große Punkt-zu-Punkt-Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen (HGÜ-Leitungen) geplant. Diese sollen das Ungleichgewicht der Erzeugung und des Verbrauchs zwischen dem Norden und Süden Deutschlands ausgleichen. Für den Parallelbetrieb dieser HGÜ-Leitungen zum Drehstromverbundsystem und die Nähe der HGÜ-Umrichterstationen zueinander sind neue Betriebsführungskonzepte erforderlich. Der Betrieb des stark vermaschten Drehstromnetzes muss dabei ohne Einschränkungen weiterhin gewährleistet sein. In diesem Projekt wurden neue Methoden der Betriebsführung entwickelt, um den Herausforderungen in der Zukunft gewachsen zu sein.

Die Betriebsführung für das Drehstromnetz ist in mehrere Stufen unterteilt:

- die Betriebsmitteleinsatzplanung
- die Korrektur dieser Planungsergebnisse entsprechend des tatsächlichen Netzzustandes und
- der Ausregelung von Störungen zur Wahrung der Netzstabilität.

Für den Betrieb der HGÜ-Systeme ist eine ähnliche Unterteilung zweckmäßig. Deshalb können sie in die Betriebsführung integriert werden. Für die Simulation ist deshalb zunächst ein geeignetes Netzmodell erforderlich. An diesem Modell können dann unterschiedliche Einsatzkonzepte in unterschiedlichen Szenarien untersucht werden, wobei Betriebsmittelgrenzwerte eingehalten werden müssen. Es ergeben sich unterschiedliche Zielfunktionen, die es gegeneinander anhand von Bewertungskriterien zu vergleichen und zu bewerten gilt. Anschließend werden diese Konzepte mit konventionellen und anhand von Artificial-Intelligence-Optimization-Verfahren optimiert, sodass Netzengpässe möglichst nicht auftreten. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in der Abbildung 3.15 zu sehen. Dort wird der Sicherheitsindex als Bewertungskriterium dargestellt, der durch drei Verfahren, die gegenübergestellt sind, optimiert wird.

Als weiteres Ergebnis dieses Projektes wurde ein Konzept für die Integration der entwickelten HGÜ-Betriebsführungsverfahren in die Betriebsprozesse der Netzbetreiber erstellt und nach betrieblichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet.

Zu den Kooperationspartnern dieses Projektes zählten die Technische Universität Ilmenau und die ABB AG. Grundlage für die Durchführung dieses Projektes war das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung mit dem Titel „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“.

⁸von M. Sc. Eric Glende

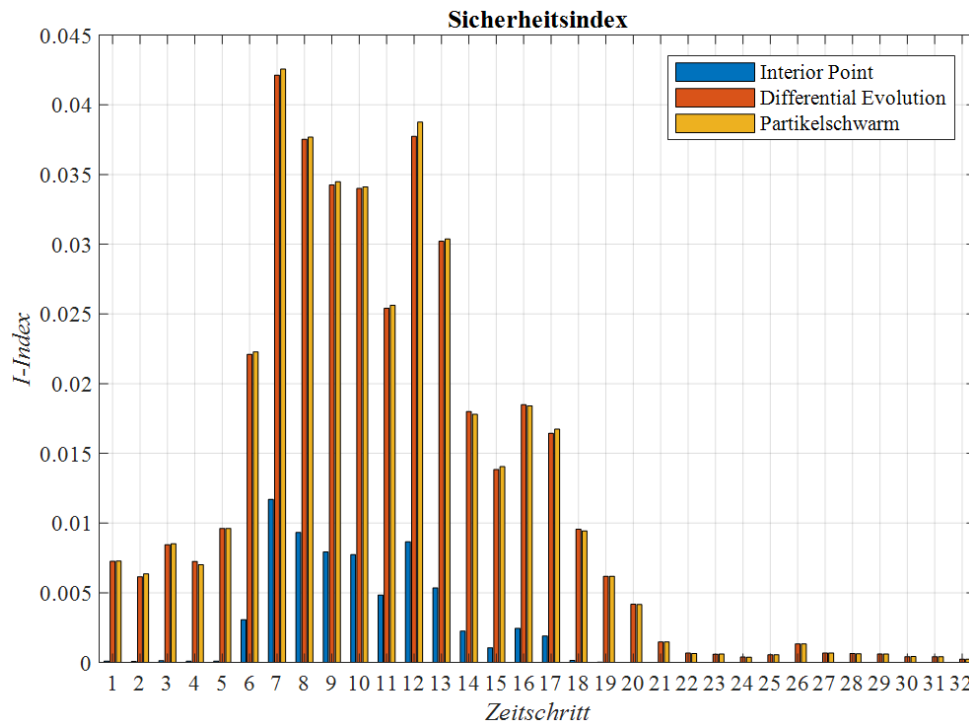


Abbildung 3.15: Sicherheitsindizes

ILEP – Entwicklung einer dynamischen Integrierten Last- und Erzeugungs-Prognose⁹

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, 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.

⁹ von M. Sc. Tamara Schröter

Innerhalb des ersten Projektjahres wurde der Ist-Zustand der Erzeugungs- und Lastsituation sowie die aktuelle Verbreitung von Speichern in Deutschland erfasst. Weiterhin wurden die aktuell angewendete Last- und Erzeugungsprognose detailliert analysiert und in der Praxis identifizierte Einflussfaktoren auf die Erzeugungsprognose definiert. Dies mündete in die Erfassung der Systemumgebung sowie von vor- und nachgelagerten Prozessen und dazugehörigen Akteuren. Als Voraussetzung für die weiteren Arbeitsschritte wurde eine geeignete Untersuchungsregion und damit verbundene Daten-/Informationsquellen bestimmt. Auf Basis dessen wurde im Gesamtkonsortium eine Analyse der innerhalb des Prognoseprozesses verwendeten Datenformate sowie ein syntaktischer und semantischer Abgleich vorgenommen. Darüber hinaus wurden erste Szenarien bzw. Show Cases entwickelt, um die Entwicklung einer ersten groben Systemarchitektur zu gewährleisten.

Infrastrukturkopplung – Platzierung und Betrieb von Ladestationen aus Verkehrs- und Energienetzicht¹⁰

Das Projekt *InKoLa* wurde am Anfang des Jahres bewilligt und hat eine geplante Projektlaufzeit von zwei Jahren. Die Mittel zur Förderung der Forschung, Einführung und Nutzung intelligenter Verkehrssysteme aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung werden vom Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt. Projektpartner ist der Lehrstuhl für Logistische Systeme sowie die Stadt Burg. Zu dem assoziierten Partner zählt die Stadtwerke Burg GmbH. Gemeinsam ist es das Ziel für die Stadt Burg ein Konzept zur optimalen Platzierung, Versorgung und Betrieb von Ladeinfrastruktur aus Netz- und Verkehrssicht unter Einbindung erneuerbarer Erzeugung zu entwickeln und an ausgewählten Orten Ladeinfrastruktur zu installieren. Zur intelligenten Vernetzung und Einbindung der Ladeinfrastruktur in den Verkehrssektor ist ein weiteres Ziel die Ladeinfrastruktur mit einem Reservierungssystem für den Nutzer auszustatten.

Im Mittelpunkt des Vorhabens steht die infrastrukturübergreifende Planung und der Betrieb für Verkehrs- und Energiesysteme. Dafür erstellt der Lehrstuhl für Logistische Systeme (ILM) ein Verkehrsmodell, auf dessen Grundlage die Stadt Burg in Quartiere unterteilt und der Verkehrsfluss, innerhalb der Stadt, berechnet wird. Das Ergebnis ist eine Priorisierung der Standorte von Ladestationen die quartiersscharf ausgegeben wird. Parallel dazu befasst sich der LENA-Lehrstuhl im ersten Schritt der Aufarbeitung von bestehenden Netzdaten mit der Nachbildung des elektrischen Netzes und der Berechnung der Lastflüsse. Im Weiteren wird ein Algorithmus entwickelt, um intelligente Ladeinfrastruktur aus dem elektrischen Netz zu platzieren. Im Anschluss sollen beide Ansätze miteinander verknüpft werden, sodass die geographischen Standorte der Ladeinfrastruktur festgelegt werden können. Durch den Entwurf eines Bewertungskataloges werden gemeinsam mit der Stadt Burg und Stadtwerken Burg Standorte für fünf bis sieben Ladepunkte ausgewählt, um diese im zweiten Teil des Projektes zu installieren. Ausschlaggebende Kriterien werden bspw. der Zugang zum ÖPNV und zentrale Attraktionspunkte darstellen.

Auf Basis der modellhaften Verknüpfung von Verkehrs- und Energieinfrastruktur kann eine optimierte Strategie für die Planung und den Betrieb von Ladeinfrastrukturen erarbeitet und unter Zuhilfenahme von Verkehrsflussdaten und Netzdaten evaluiert werden. Es wird ein entsprechender Maßnahmenplan erstellt, der auf eine flächendeckende Versorgung für das Untersuchungsgebiet Burg abzielt.

Das entwickelte Konzept wird sowohl durch die Gemeinde als auch durch Stadtwerke Burg für die infrastrukturelle Planung genutzt, sodass der Grundstein für eine langfristige Verbreitung von Ladeinfrastruktur in der Stadt Burg gelegt wird.

¹⁰von M. Sc. Sebastian Helm

IZI – Innovative Investitionsplanung zur intelligenten ökonomisch, ökologischen Prosumer- und Netzoptimierung¹¹

Seit dem 1. Juli 2019 arbeitet der Lehrstuhl LENA in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Innovations- und Finanzmanagement (IFM) am Projekt IZI. Das Projekt läuft bis zum 30. Juni 2022 und ist ein EFRE-gefördertes Projekt. Die Fragestellung des Projektes beschäftigt sich mit der Investition in Stromerzeugungs- und -Speichertechnologien. Dabei stellt sich diese Frage insbesondere für Einfamilienhausbesitzer und Mehrfamilienhausbesitzer sowie kleine und mittlere KMU, da dort eine Investition ein relativ großes finanzielles langfristiges Wagnis darstellt. Zudem besteht zunehmend die Schwierigkeit der Auswahl einer geeigneten Technologie, in die investiert werden soll.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Methodik für die komplexe Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit sowie unter dem Aspekt der Eigenverbrauchsdeckung bzw. Energievermarktung. Dabei soll eine praxisoptimale Systemlösung gefunden werden. Diese Systemlösung muss basierend auf einem großen Technologiepool für Erzeugung, Speicherung und Konversion identifiziert werden und zugleich die kritischen Aspekte Wirtschaftlichkeit, Effizienz, Umweltverträglichkeit und Sicherheit erfüllen. Darüber hinaus soll diese Optimierung für Zeitschritte unterhalb der 1/4 h betrachtet werden.

Mit diesen Ergebnissen kann für Netzbetreiber die Entwicklung einer Methodik für die verbesserte Vorhersage von sich im Wandel befindenden Verbrauchsprofilen von Prosumer & KMUs vorangetrieben werden. Zudem können Handlungsempfehlungen hinsichtlich verschiedener Aspekte der Bilanzkreisführung gegeben werden.

Loop-Flow-Studie¹²

Das europäische Übertragungsnetz ist durch einen hohen Vermaschungsgrad und umfangreiche Verbindungen zwischen vielen Übertragungsnetzbetreibern gekennzeichnet. Das führt dazu, dass Lastflüsse, die innerhalb einer Gebotszone auftreten, auch benachbarte Gebotszonen beeinflussen. Beispielhaft kann hier der starke Nord-Süd-Lastfluss in Deutschland genannt werden, der hohe Lastflüsse über die parallelen AC-Leitungen in benachbarten Ländern treibt, die sich durch das Impedanzverhalten einstellen. Die entstehenden Lastflüsse im Netz können nach der entso-e-Definition typisiert und mit unterschiedlichen Verfahren berechnet werden. Diese Typen werden in der Studie beschrieben und zusätzlich werden weitere Definitionen vorgeschlagen, die sich durch lastflussteuernde Phasenschiebertransformatoren ergeben (siehe Abbildung 3.16).

Die Berechnung erfolgte nach der Power-Flow-Colouring-Methode (PFC), der Full-Line-Decomposition-Methode (FLD) und der Power-Flow-Decomposition-Methode (PFD), wobei letztere die physikalischen Lastflusstypen am genauesten berechnet und empfohlen wird. Als Ergebnis des Projekts ist ein Tool entstanden, welches Netzdateien im UCTE-Format einlesen kann und die partiellen Lastflüsse auf allen Leitungen berechnet und umfangreiche Auswertungen ermöglicht. Dazu zählt z. B. die Beteiligung der ÜNBs an Loop Flows, dargestellt in der Abbildung 3.17, die aktuell zwischen den ÜNBs diskutiert und zukünftig wahrscheinlich monetär bestraft werden.

RE-FLEX – Unitäre reversible PEM-Brennstoffzellen für die flexible Energiespeicherung¹³

Das Verbundforschungsvorhaben *RE-FLEX* hat zum Ziel, einen Beitrag zur Sicherung der Versorgungsqualität in einem zukünftigen elektrischen Netz mit einem hohen Anteil erneuerbarer

¹¹ von M. Sc. André Richter

¹² von M. Sc. Eric Glende

¹³ von M. Sc. Philipp Kühne

Source	Sink	Line	Flow Type
A	A	A	Internal Flow
A	B	A or B	Import /Export
A	A	B or C	Loop Flow
A	B	C	Transit Flow
A	A	A	Internal PST Flow
A	A	B or C	PST Loop Flow

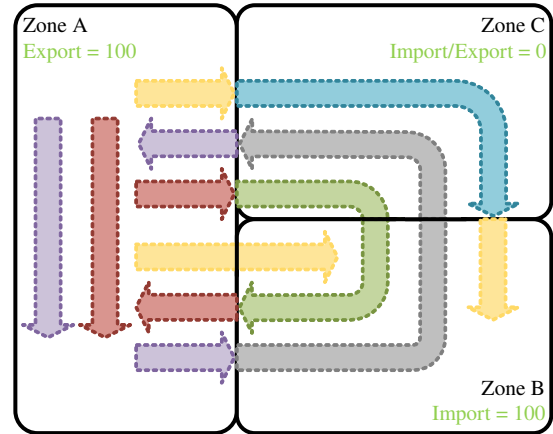


Abbildung 3.16: Klassifizierung von partiellen Lastflüssen

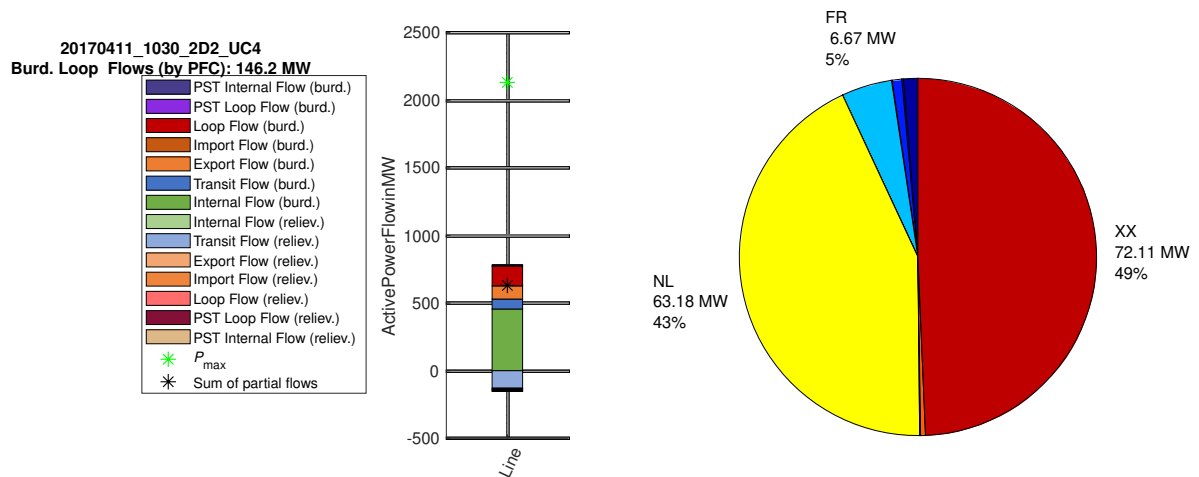


Abbildung 3.17: Beispielhafte Darstellung für Beteiligungen an Loop Flows auf einer deutschen Leitung

Erzeugungsanlagen zu leisten. Der Fokus des Vorhabens liegt in der Weiterentwicklung und 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 (siehe Abbildung 3.18).

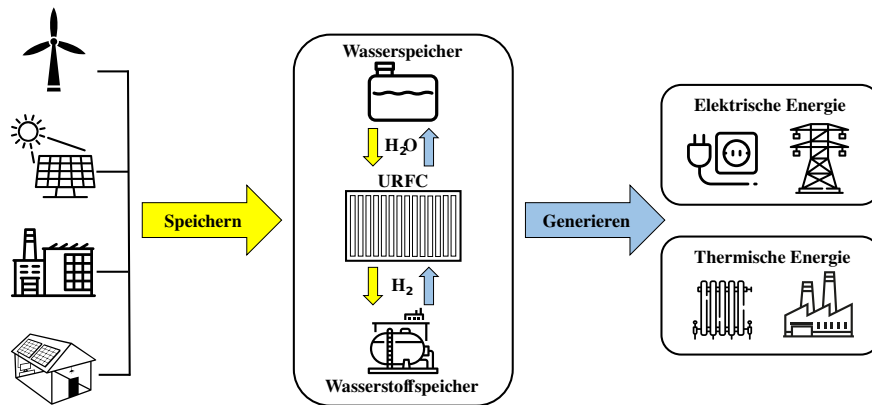


Abbildung 3.18: Funktionsprinzip einer URFC als Zwischenspeicher

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. Nach einem Jahr Projektlaufzeit wurden alle notwendigen Grundlagen zum Aufbau des Versuchsteststands erarbeitet und in einem Gesamtumsetzungsplan zusammengefasst. Weiterhin wurden die ersten Membran-Elektrodeneinheiten mit neuer Katalysatorbeschichtung synthetisiert und werden zurzeit bei den Projektpartnern OVGU und Fraunhofer ICT untersucht. Ausgehend von diesen Ergebnissen wird die MEA anschließend weiter optimiert und für den Einsatz im mehrzelligen Stack vorbereitet. Das Verbundvorhaben *RE-FLEX* wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für einen Zeitraum von 3 Jahren (Start: 11/2018) gefördert.

„Erforschung, Entwicklung und Erprobung stabilitätserhöhender, operativer Maßnahmen in Transportnetzen“¹⁴

Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit ist eine zentrale Aufgabe in der Betriebsführung von Netzbetreibern. In Folge des Ausbaus der Erneuerbaren Energien und der damit verbundenen Reduzierung planbarer Einspeisung durch konventionelle Kraftwerke nimmt die Komplexität des Elektroenergiesystems zu. Auch der grenzüberschreitende Stromhandel und der Zusammenschluss

¹⁴ von M. Sc. Christian Ziegler

von Verbundnetzen über wenige Kuppelleitungen wirken sich negativ auf die Systemstabilität aus.

Die Identifizierung von Schwachpunkten im System sowie die Ermittlung geeigneter Maßnahmen zur Stabilitätserhöhung hat sich der Lehrstuhl LENA und die Siemens AG in diesem gemeinsamen Projekt als Aufgabe gesetzt. Im Rahmen der Forschungsarbeiten werden stabilitätserhöhende operative Maßnahmen in Übertragungsnetzen erforscht, die für den Einsatz in der von der Siemens AG entwickelten Netzüberwachungssoftware SIGUARD@DSA geeignet sind. Der Forschungsschwerpunkt liegt hierbei auf Maßnahmen zur Erhöhung bzw. Wahrung der Spannungsstabilität. Um Stabilitätsreserven des Systems zu bestimmen, wird der Index PTSI (Power Transfer Stability Index) verwendet. Dieser Index gibt die Stabilitätsreserve von Lastknoten mit einem Wert zwischen null und eins an. Ein Wert von eins ist hierbei einem Spannungskollaps gleichzusetzen, wohingegen ein kleinerer Wert eine größere Stabilitätsreserve signalisiert. Auf dieser Grundlage kann dem Netzbetreiber der Zustand des Netzes in Form von Säulendiagrammen mit dem jeweiligen Arbeitspunkt veranschaulicht werden. Um die Spannungsstabilität zu erhöhen, wird in diesem Projekt ein Algorithmus entwickelt, der basierend auf dem PTSI zielgerichtete Maßnahmen berechnet. Diese Maßnahmen umfassen Arbeitspunktänderungen von Generatoren und Lasten sowie zusätzliche Blindleistungskompensationsanlagen. Abbildung 3.19 zeigt hierzu exemplarisch eine Erhöhung der Spannungsstabilität nach Ergreifen einer Maßnahme.

Der in diesem Projekt entwickelte Algorithmus wird anschließend in die von Siemens entwickelte Netzüberwachungssoftware SIGUARD@DSA implementiert. Das Ziel ist es, Netzbetreiber dabei zu unterstützen, bessere Entscheidungen zur Aufrechterhaltung der Spannungsstabilität zu treffen.

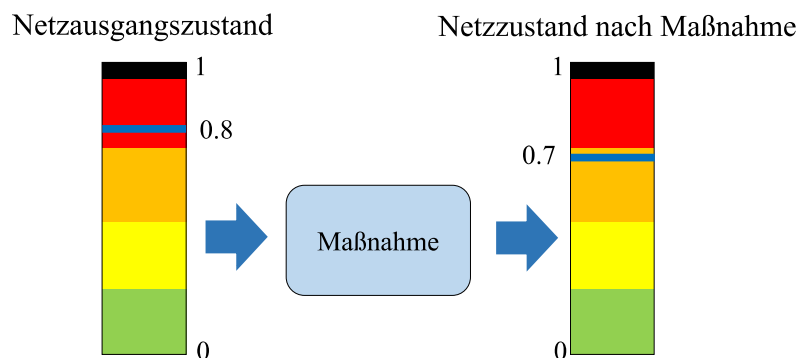


Abbildung 3.19: Erhöhung der Spannungsstabilität nach Einsatz einer Maßnahme

SmartMES – Intelligentes Multi-Energie-System¹⁵

Am 01.01.2017 startete an der Otto-von-Guericke-Universität das Forschungsprojekt *SmartMES* (Intelligentes Multi-Energie-System). 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 des Projektes entwickeln die wissenschaftlichen Mitarbeiter der Universität in Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, namentlich die ABO Wind AG, das Fraunhofer IFF und die Stadtwerke Burg Energienetze GmbH, neue Konzepte und Ideen für eine umfangreiche Sektorenkopplung.

Im dritten Projektjahr wurden auf Basis der Ergebnisse des zweiten Projektjahres weitere Anwendungsmöglichkeiten der Sektorenkopplung analysiert und deren ökologische sowie ökonomische Potentiale bestimmt. Hierzu gehört unter anderem die Kopplung von regenerativer Erzeugung mit

¹⁵ von M. Sc. Christian Klabunde

dem Mobilitätssektor durch die Erzeugung von Wasserstoff über Elektrolyseure. Außerdem wurde analysiert, inwieweit sich ökonomische und ökologische Gesichtspunkte durch die Anwendung einer CO₂-Steuer kombinieren lassen.

Darüber hinaus wurden im dritten Projektjahr aller erzielten Ergebnisse in geeigneten Demonstrationsumgebungen umgesetzt, um diese auch im Anschluss des Projektes der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Hierzu gehört zum einen ein Softwaredemonstrator, in dem unterschiedliche Betrachtungsbereiche (Haushalte, Netzgebiete, Erzeugungsanlagen) ausgewählt werden können. Anschließend können die Auswirkungen unterschiedlicher Sektorenkopplungstechnologien auf ökologische und ökonomische Parameter der Systeme betrachtet werden. Diese Systeme wurden ebenso in einem vereinfachten Hardwaremodell umgesetzt. In diesem werden die einzelnen Energieinfrastrukturen und die Energieflüsse zwischen diesen dargestellt, um transparent darzustellen, wie ein System unter unterschiedlichen Gesichtspunkten optimal ausgelegt werden kann. Hierzu gehören neben den bereits erwähnten ökonomischen und ökologischen Parametern auch technische Parameter, wie die Vermeidung von Netzengpässen. Darüber hinaus wurde ein Testsystem bestehend aus einem Elektrolyseur, einem Wasserstoffspeicher und einer Brennstoffzelle aufgebaut. Dieses kann mit unterschiedlichen Simulationsmodellen gekoppelt werden, um die Potentiale der Power-2-Gas/ und Gas-2-Power-Technologie darzustellen.

Low-Cost-Teilentladungsmessung¹⁶

Die Versorgung mit elektrischer Energie wird in Deutschland, vor allem in dicht besiedelten Gebieten, vorrangig mit Energiekabeln sichergestellt. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem elektrischen Innenleiter im Zentrum, welcher von einer dielektrischen Feststoffisolierung umschlossen ist und einem geerdetem Außenleiter als abschirmende Schicht. Auf Grund thermischer Belastungen sowie chemischen und mechanischen Umwelteinflüssen sind die isolierenden Feststoffe einem stetigen Alterungsprozess unterworfen. Entwickeln sich in diesem Zuge Fehlstellen, z. B. durch Hohlraum- oder Rissbildung, ist die elektrische Festigkeit der Isolierung den Spannungsbelastungen oft nicht mehr gewachsen. Es setzen örtlich beschränkte elektrische Entladungen ein, sogenannte Teilentladungen (TE). Diese sind meist persistent und fördern die weitere Degradation der organischen Isolierstoffe, wodurch sich wiederum die TE-Aktivität intensiviert. In letzter Konsequenz führt dieser Prozess zum Kurzschluss von Innen- und Außenleiter bzw. der thermischen Zerstörung des Kabels. TE sind somit Vorboten eines herannahenden Totalversagens. Die Messung der TE-Aktivität stellt daher einen wichtigen Indikator für Defekte der elektrischen Isolierung dar.

TE-Messungen sind bisher aufwändige und kostspielige Verfahren, weshalb sie nur punktuell im Netzbetrieb eingesetzt werden. Das Projekt Low Cost Teilentladungsmessung soll ein neues TE-Messverfahren entwickeln, mit dem Ziel, durch Wahl indirekter Messgrößen die Kosten für das Messgerät deutlich zu reduzieren und somit eine online-Überwachung der Betriebsmittel zu ermöglichen. Auf diese Weise kann die Lebensdauer der Betriebsmittel erheblich verlängert und Kosten für die Netzinstandhaltung reduziert werden. Hierzu sollen die von TE emittierten elektromagnetischen Funksignale im hochfrequenten Radiowellenbereich mit Hilfe geeigneter Antennen erfasst und ausgewertet werden, um etwaige TE zuverlässig zu detektieren. Erstes Teilziel der Methodenentwicklung ist die Einrichtung eines Messstandes bzw. Simulators, um TE-Signale künstlich erzeugen und analysieren zu können zur Schaffung einer Datenbasis. Seit dem 01.07.2019 arbeiten an diesem Forschungsprojekt Mitarbeiter des LENA sowie des Lehrstuhls für technische Thermodynamik. Das Projekt wird die nächsten drei Jahre über Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

¹⁶ von M. Sc. Martin Fritsch

WindNODE¹⁷

Die steigende Anzahl an erneuerbaren Energieträgern 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 Verbundpartnern und weiteren 30 assoziierten Partnern, im Projekt *WindNODE* – eines von fünf Schaufensterprojekten des Förderprogramms „*Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende*“ (*SINTEG*) – zusammengefunden.

Am 08.10.2019 wurde der Netzleitstand des Lehrstuhls als „Besuchbarer Ort“ im Rahmen des Forschungsprojekts *WindNODE* feierlich eröffnet (siehe Abbildung 3.20). Interessierte können sich künftig über den Forschungsstand und die Herausforderungen der Digitalisierung der Energiewende informieren und unter Anleitung eines Wissenschaftlichen Mitarbeiters selbst ausprobieren, ein Übertragungsnetz stabil zu halten und sicher zu führen. Im Zuge des *WindNODE*-Projektes steht dabei die Nutzung flexibler Lasten, die über die Flexibilitätsplattform Potentiale am Markt anbieten können, im Vordergrund.



Abbildung 3.20: Überreichung der Plakette als „Besuchbarer Ort“ im Rahmen des *WindNODE*-Projektes
v. l. n. r.: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter (Institutsleiter), Markus Gräbig (Projektleiter *WindNODE*), Prof. Dr.-Ing. Jens Strackeljan (Rektor)

¹⁷ von M. Sc. Christian Klabunde

3.2.3 Promotionen

Dr.-Ing. Iryna Chychykina: Comparison of different redispatch optimization strategies

Gutachter:

- Prof. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dirk Westermann, Technische Universität Ilmenau

verteidigt am 18. November 2019 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.22)

In den letzten Jahren hat die Häufigkeit des Auftretens von Engpässen in den elektrischen Übertragungsnetzen stark zugenommen, weil die Stromnetze ursprünglich für die aktuelle Energiemenge und deren starke Schwankung nicht ausgelegt sind. Darüber hinaus bringen die weiter steigende Nutzung der erneuerbaren dezentralen Energiequellen, die zunehmende Netzkomplexität, die Abschaltung konventioneller Kraftwerke, Prognosefehler und der starke Wettbewerb auf dem Strommarkt die elektrischen Netze immer öfter an ihre Übertragungsgrenzen. Daher ist die Gefahr von Engpässen permanent gestiegen, insbesondere in Mitteleuropa.

Wenn ein Engpass im Stromnetz entstanden ist, sind die Übertragungsnetzbetreiber verpflichtet, eine geeignete Abhilfemaßnahme so schnell wie möglich anzuwenden, um ihn zu beseitigen, z. B. durch den deutschlandweit verbreiteten Redispatch (siehe Abbildung 3.21). Allerdings kann diese Gegenmaßnahme hohe Kosten für die Übertragungsnetzbetreiber verursachen, die zum Schluss die Stromverbraucher zahlen müssen. Deswegen ist die Realisierung eines kosten- und technisch effizienten Redispatches ein sehr wichtiges Thema des Netzbetriebs geworden.

Daher ist das Hauptziel dieser Arbeit, unterschiedliche Möglichkeiten und Ansätze für eine kostengünstige Redispatchumsetzung bei Entstehung der Engpässe zu entwickeln. Dafür werden verschiedene numerische und metaheuristische Optimierungsmethoden hinsichtlich ihrer Komplexität, Effizienz, Verlässlichkeit, Detaillierung und Rechenzeit verglichen und durch ein kleines Netz sowie durch ein vereinfachtes ENTSO-E-Netzmodell verifiziert.

Schließlich werden die Übertragungsnetzbetreiber durch die Erkenntnisse in dieser Arbeit in die Lage versetzt, ihre Stromnetze effizienter zu betreiben, in dem der Redispatchprozess verbessert wird. Dabei werden die hohen Redispatchkosten, insbesondere in Deutschland, deutlich gesenkt.

3.2.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] J. Dancker, J. Götze, F. Schulz, N. Könnecke, F. Beyrau und M. Wolter, „Optimal design and operation of a CHP based district heating system including a heat storage and electrode boiler to increase self-consumption“, in *2019 IEEE ISGT Latin America*, 2019, S. 1–6.
- [2] A. Kern und N. Gast, „Sector coupling between different distribution grids“, in *2019 Power and Energy Student Summit*, Bd. 6, Juli 2019, S. 171–177. DOI: 10.24352/UB.OVVGU-2019-086.
- [3] N. Gast und M. Wolter, „Sektorenkopplung im Niederspannungsnetz – der nächste Schritt für die Energiewende?“, in *2019 Internationaler ETG-Kongress*, Bd. 6, Mai 2019, S. 105–111.
- [4] I. Hauer, M. Richter und C. Heyde, „Dynamic investigation of congestion management methods for dynamic security assessment application“, in *Energy systems research - Moskva: Melentiev Energy Systems Institute SB RAS*, 2019.

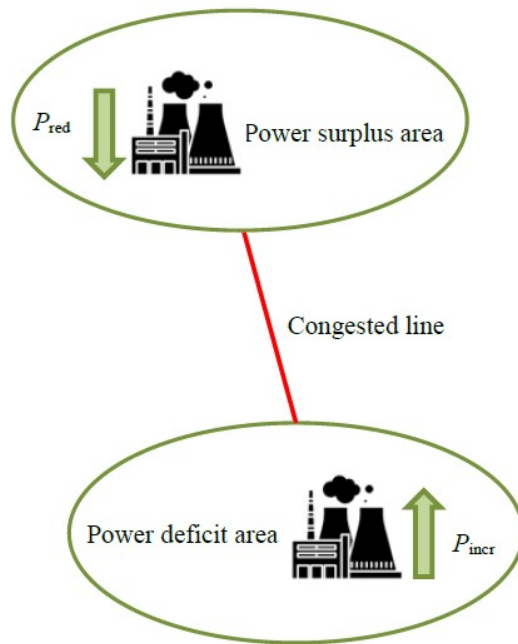


Abbildung 3.21: Redispatchprinzip



Abbildung 3.22: Gratulation an Iryna Chychykina am Otto-von-Guericke-Denkmal

- [5] L. Nolting, J. Priesmann, C. Kockel, G. Rödler, T. Brauweiler, I. Hauer, M. Robinius und A. Praktiknjo, „Generating transparency in the worldwide use of the terminology Industry 4.0“, in *Applied Sciences - Basel: MDPI, Volume 9, issue 21 (2019), article 4659*, 2019.
- [6] N. Gast, T. Schröter, C. Klabunde, J. Roßberg, M. Wolter und E. Tsotsas, „Optimized economical and technical sector coupling under consideration of defined incentives“, in *2019 CIRED Conference - CIRED Repository*, Bd. 5, Juni 2019.
- [7] M. Hasanov und P. Kühne, „Review of Components and Materials for Proton Exchange Membrane Unitized Reversible Fuel Cells“, in *Power and Energy Student Summit 2019*, Juli 2019, S. 165–170. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2019-086.
- [8] C. Klönz und P. Kühne, „Modeling and Experimental Validation of an Unitized Regenerative Fuel Cell“, in *Power and Energy Student Summit 2019*, Juli 2019, S. 177–181. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2019-086.
- [9] M. Tayyab, I. Hauer, C. Klabunde und M. Wolter, „Optimal storage operation with flexible tariff under consideration of sector coupling and renewable energy sources in a new settlement area“, in *13th International Renewable Energy Storage Conference (IRES) 2019*, 2019.
- [10] Y. Zhang, C. Klabunde und M. Wolter, „Harmonic Resonance Analysis for DFIG-based Offshore Wind Farm with VSC-HVDC Connection“, in *2019 IEEE Milan PowerTech*, Juni 2019, S. 1–6. DOI: 10.1109/PTC.2019.8810495.
- [11] Y. Zhang, C. Klabunde und M. Wolter, „Harmonic Filtering in DFIG-based Offshore Wind Farm through Resonance Damping“, in *2019 IEEE ISGT Europe*, Sep. 2019, S. 1–5.
- [12] J. Götze, J. Dancker und M. Wolter, „A general MILP based optimization framework to design Energy Hubs“, in *at - Automatisierungstechnik*, Bd. 67), Nov. 2019, S. 958–971. DOI: 10.1515/auto-2019-0059.
- [13] F. Linke, E. Glende, D. Westermann und M. Wolter, „Multikriterielle Optimierung für Wirkleistungseinsatzkonzepte von vermaschten AC-HGÜ-Systemen“, in *at - Automatisierungstechnik*, Bd. 67), Nov. 2019, S. 912–921. DOI: 10.1515/auto-2019-0074.

Dissertationen und Bücher

- [1] I. Chychykina, „Comparison of different redispatch optimization strategies“, Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Nov. 2019.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] S. Helm und M. Wolter, „Potentialanalyse von BEV zur Umsetzung von V2G-Anwendungen“, in *Dresdener Kreis 2019*, Hannover, März 2019.
- [2] N. Gast und M. Wolter, „Entwicklung von Systemführungskonzepten im Technikmaßstab“, in *Dresdener Kreis 2019*, Hannover, März 2019.
- [3] M. Gebhardt und M. Wolter, „Lastflusszerlegungsmethoden in vermaschten AC-Netzen“, in *Viertes ILMA-Treffen der Universitäten Ilmenau und Magdeburg*, Magdeburg, Mai 2019.
- [4] I. Chychykina und M. Wolter, „Vergleich von Redispatch-Optimierungs-Strategien“, in *Viertes ILMA-Treffen der Universitäten Ilmenau und Magdeburg*, Magdeburg, Mai 2019.

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. Außerdem 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 elektromagnetischer Felder in Leitungsstrukturen im Zeitbereich ¹⁸

Innerhalb dieses Projektes ist geplant, erstmals die Einkopplung statistischer Felder in Leitungsstrukturen im Zeitbereich zu untersuchen. Es werden sowohl zwei- als auch dreidimensionale Leitungsstrukturen theoretisch und experimentell betrachtet. Auch auf nichtlineare Leitungsabschlüsse und die damit verbundenen Effekte wie einer zeitlichen Änderung der Reflexionsparameter, einer Demodulation hochfrequenter Träger und einer Intermodulation verschiedener Frequenzanteile wird eingegangen. Der experimentelle Nachweis jeder Theorie erfolgt durch Messungen sowohl in einer GTEM-Zelle für eine ebene Welle als auch in einer Modenverwirbelungskammer für ein stochastisches Feld.

Da die Antwort eines nichtlinearen Systems nicht nur von der Zeit, sondern auch von der Amplitude der Anregung abhängt, sind Untersuchungen mit verschiedenen Speiseleistungen geplant, um in der Modenverwirbelungskammer ein Feld mit verschiedenen mittleren und maximalen Feldstärken zu erzeugen. Die Anregung der Modenverwirbelungskammer soll im Gegensatz zu vorherigen Arbeiten nicht durch gepulste Träger sondern durch einzelne Pulse erfolgen, sodass nicht notwendigerweise ein eingeschwungener Zustand entsteht. In der Literatur wird bisher kaum über entsprechende Experimente berichtet.

In einem ersten Arbeitsschritt wird die Einkopplung einer ebenen Welle in Leitungen untersucht und durch Messungen in einer GTEM Zelle validiert, um danach das Modell auf ein stochastisches Feld erweitern zu können. Mit *LTspice*, einem Simulationsprogramm für elektronische Schaltungen, wurde ein Leitungsnetzwerk (TLN) simuliert. Ein Schaltplan des Netzwerks ist in Abbildung 3.23 dargestellt. Hier repräsentieren T_1 , T_2 und T_3 die Leitungen des Netzwerks mit dem Leitungswellenwiderstand von $Z_c = 1/2\pi \cdot \sqrt{\mu/\epsilon} \ln(h/r_0)$. Hierbei sind ϵ die Permeabilität und μ die Permittivität des umgebenden Mediums. Die gesamte Leitungslänge muss um die Länge der vertikalen Steigleitungen und Durchführungen (F_1 , F_2 , F_3) angepasst werden.

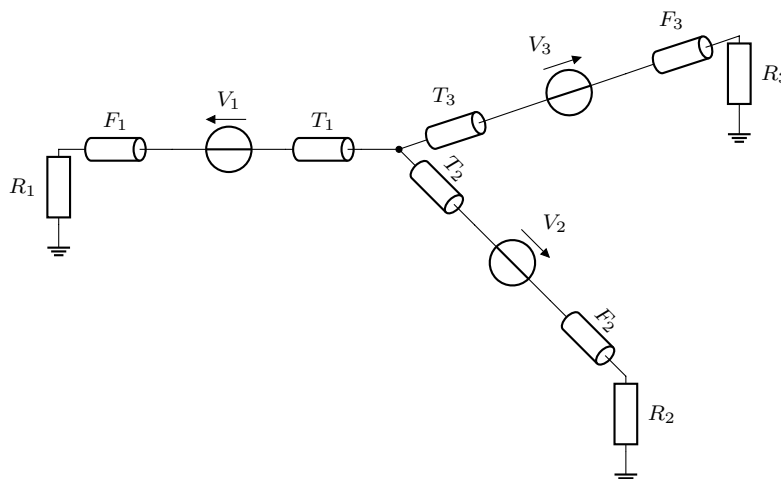


Abbildung 3.23: Aufgebautes Leitungsnetzwerk in *LTspice*

In Abbildung 3.24 ist der Messaufbau in einer GTEM-Zelle gezeigt, um das nichtlineare Netzwerk im Zeitbereich mit Hilfe eines Oszilloskops zu untersuchen.

¹⁸ von M. Sc. Johanna Kasper

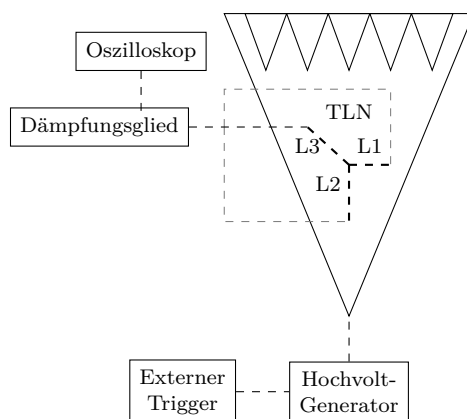


Abbildung 3.24: Messaufbau mit Einsatz eines Oszilloskops

Implementierung eines Magnetresonanztomographie-Ablations-Hybridsystems¹⁹

Die Radiofrequenz-Ablation (RFA) ist eine therapeutische Prozedur zur Zerstörung von Tumoren und Metastasen. Bei diesem Eingriff werden Elektroden in eine Zielregion platziert, welche eine Wärmegenerationen durch einen elektrischen Stromfluss im Körper ermöglicht. Die Magnetresonanztomographie (MRT) bietet hierfür die Möglichkeit einer Therapiekontrolle mittels der Aufnahme von Temperaturkarten. Jedoch generieren kommerziell-erhältliche Ablationsgeneratoren Interferenzen für die MR-Bildgebung, wodurch die Zuverlässigkeit der Therapiekontrolle reduziert wird.

Ziel dieses Projektes ist die Implementierung eines MRT-Ablations-Hybridsystems, dessen Konzept in Abbildung 3.25 dargestellt ist. Durch Anschluss einer Ablationselektrode am Spuleninterface des MR-Gerätes kann eine Verbindung zum MR-internen RF-Verstärker (RFPA) hergestellt werden. Die Ausführung von Bildgebungssequenzen mit einem hohen Tastgrad ermöglicht die Nutzung der mittleren RF Leistung vom MRT für die Ablation. Mit diesem System ist ein externer Ablationsgenerator obsolet. Des Weiteren ist es mit dem Hybrid-System möglich, die Ablationselektrode als eine Messantenne für die MR-Thermometrie zu nutzen.

Experimente im Proteinphantom zeigten eine hohe Korrelation zu dem vorhergesagtem Ablationsareal basierend auf der Thermometrie (19,9 mm × 39,6 mm) und dem tatsächlich entstandenem Ablationsareal (25 mm × 41 mm) (siehe Abbildung 3.26). Die erzielten Ablationsareale können mit der Ablationseffizienz von konventionellen Ablationsgeneratoren verglichen werden. In weiteren Arbeiten soll die Machbarkeit einer Regelung der RF-Leistung mit den Temperaturkarten bei Nutzung des Hybridsystems untersucht werden.

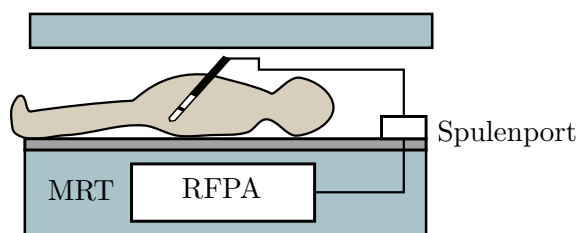
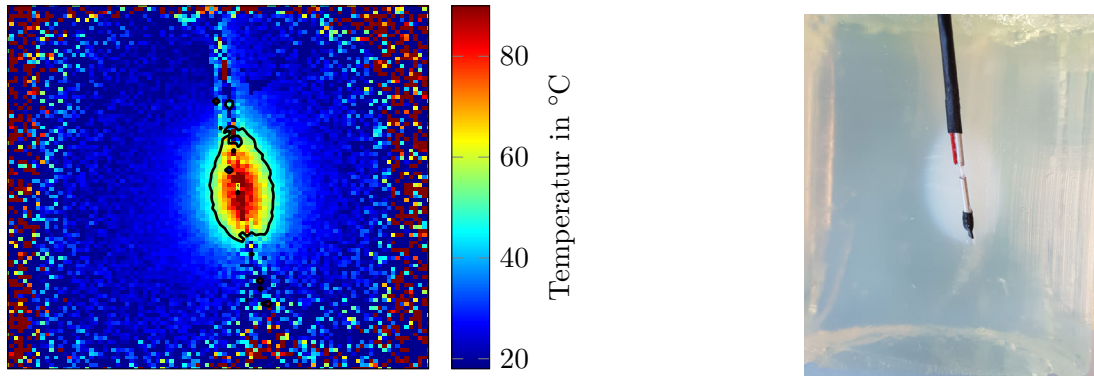


Abbildung 3.25: Konzept des MRT-Ablations-Hybridsystems

¹⁹von M. Sc. Thomas Gerlach und M. Sc. Enrico Pannicke



(a) Aufgenommene Temperaturkarte im MRT. Die 50 °C-Isolinie repräsentiert die Denaturierungstemperatur des Proteinphantoms.

(b) Proteinphantom nach der Ablation. Die weiße Trübung repräsentiert denaturiertes Protein.

Abbildung 3.26: Vergleich der Temperaturkarte mit dem denaturiertem Proteinphantom

Elektromagnetische Feldsimulationen für die neonatale Magnetresonanztomographie²⁰

Schädel-Hirnverletzungen gehören mit zu den häufigsten Todesursachen von Kindern bis zu 15 Jahren in Deutschland. Vor allem Neugeborene (neonatal = neugeboren) sind aufgrund ihres noch im Wachstums befindenden Körpers anfällig gegenüber diesen Verletzungen.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht hierfür eine Patientenschonende Untersuchung auf Hirnverletzungen mit sehr gutem Weichgewebekontrast. Jedoch müssen spezielle Anforderungen an das MRT-System für die neonatale Bildgebung gestellt werden. Dies beinhaltet unter anderem der Nutzung eines geeigneten Patientenlagerungssystems sowie dedizierte RF-Spulen. Ein solches MRT wird vom Kooperationspartner Neoscan Solutions entwickelt. Hierbei erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für EMV die Erforschung eines RF-Systems für die neonatale Bildgebung.

Die RF-Spulen generieren ein elektromagnetisches Feld, um die Wasserstoffatome im Menschen für die MR-Bildgebung magnetisch anzuregen. Diese RF-Felder werden dabei vom Körper absorbiert und in Wärme umgewandelt. Um eine hohe lokale Erwärmung der Gewebe zu verhindern, sind Grenzwerte für die spezifische Absorptionsrate (SAR) einzuhalten. Eine direkte Messung der absorbierten Leistung im Körper ist nicht praktikabel, sodass numerische Feldsimulationen eingesetzt werden, um das Verhalten zwischen Sendespule und Körper zu analysieren.

Ein Kopf-Phantom mit homogenen dielektrischen Eigenschaften wurde in einer für das Neonatal-MR entwickelten Spule bei einer Larmorfrequenz von 63,8 MHz simuliert. Abbildung 3.27 zeigt die SAR-Verteilung am Phantom mit Maxima in den Augenregionen und geringer Absorption im Hirn. Ein hohes SAR im Bereich der Augen ist zu erwarten, muss jedoch durch Gegenmaßnahmen im MR-System in Grenzen gehalten werden.

Um noch aussagekräftigere Vorhersagen treffen zu können, wird zukünftig ein heterogenes Phantom verwendet, welches auf segmentierten Bilddaten eines Neugeborenen basiert. Dies ermöglicht eine gewebespezifische Auswertung der thermischen Folgen durch die RF-Pulse der Sendespule.

²⁰von B. Sc. Robert Kowal, M. Sc. Thomas Gerlach, M. Sc. Enrico Pannicke und M. Sc. Marcus Prier

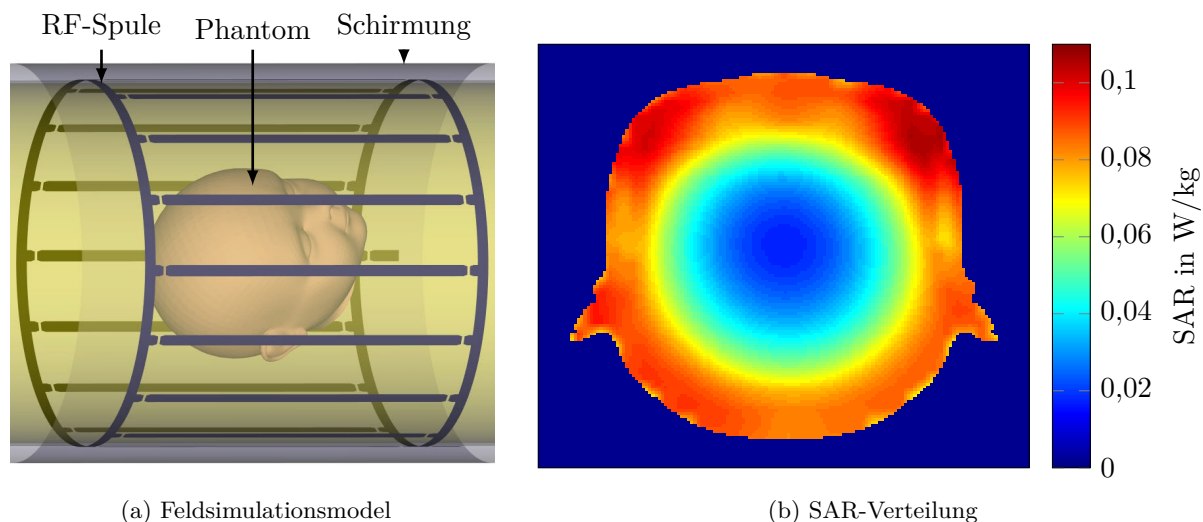


Abbildung 3.27: Simulationen der spezifischen Absorptionsrate (SAR) am homogenen Phantom eines Neugeborenen im Zentrum einer RF-Spule für 63,8 MHz.

Ganzheitlicher Ansatz für systemintegrierbare energieeffiziente Antriebslösungen für Elektrofahrzeuge (GENIAL) ²¹

Die begrenzt speicherbare elektrische Energie wird durch einen elektrischen Antrieb in mechanische Energie gewandelt. Beim Bremsbetrieb muss umgekehrt die mechanische Energie wieder in elektrische Energie gewandelt werden, welche zu speichern ist. Ein hoher Wirkungsgrad bei der mehrfachen Energieumwandlung ist entscheidend für eine hohe Reichweite und damit für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen. Das komplexe System bestehend aus Hochvoltbatterie, HV-Bordnetz, Umrichter, Steuergeräten und elektrischem Antrieb muss optimal aufeinander abgestimmt und geregelt sein sowie funktionsgerecht in das restliche Fahrzeugsystem integriert werden.

Der ganzheitliche Ansatz des Projekts beruht auf der parallelen Entwicklung, Optimierung und systemkonformen Integration aller Komponenten des Traktionsnetzes. Es wurde erfolgreich ein hochdynamischer HV-Zwischenspeicher auf Basis von Gallium-Nitrid-Leistungshalbleitern und Superkondensatoren (OVGU) entwickelt, um die Effizienz der Rekuperation zu erhöhen. Parallel dazu wurden innovative Zahnspulensynchronmotoren (OVGU, IM, AEM) entwickelt, die zusammen mit einem Wechselrichter einen Direktantrieb ohne Getriebe im Fahrzeug ermöglichen. Diese Komponenten wurden auf einem eigens entwickelten Antriebsprüfstand detailliert untersucht und parametrisiert. Anschließend wurde der Antrieb mit dem HV-Netz, bestehend aus Zwischenspeicher und Hochvoltbatterie, unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Verträglichkeit in einem fahrtüchtigen Demonstrator (OVGU, VW) integriert.

Der Demonstrator stellt zusammen mit der messtechnischen Ausstattung der OVGU eine Plattform für die Entwicklung und Erprobung neuer Komponenten (z. B. Fahrassistenz, Kommunikation) unter realistischen Bedingungen dar (siehe Abbildung 3.28). Das EMV-Systemverhalten zukünftiger Prototypen kann mit den entwickelten Modellen der Komponenten unter realistischen Bedingungen simuliert werden, was zur Reduktion von Entwicklungszeiten beiträgt. Die entwickelten Hochvolt-Filter erlauben die Auslegung des HV-Netzes auf Basis ungeschirmter Kabel, wodurch Kosten gesenkt und Gewicht verringert werden, wodurch die Effizienz steigt.

Durch eine systembezogene Herangehensweise wurden im Rahmen des Verbundprojektes die Grundlagen geschaffen, die Energie effizienter zu speichern und zu wandeln, sowie gleichzeitig die

²¹ von Dipl.-Phys. Jörg Petzold

notwendigen hochgetakteten leistungselektronischen Stellglieder EMV-kompatibel in das System zu integrieren.



(a) Gesamtsystem



(b) Motorraum



(c) Bordnetz

Abbildung 3.28: Fertiggestelltes Gesamtsystem auf dem Rollenprüfstand

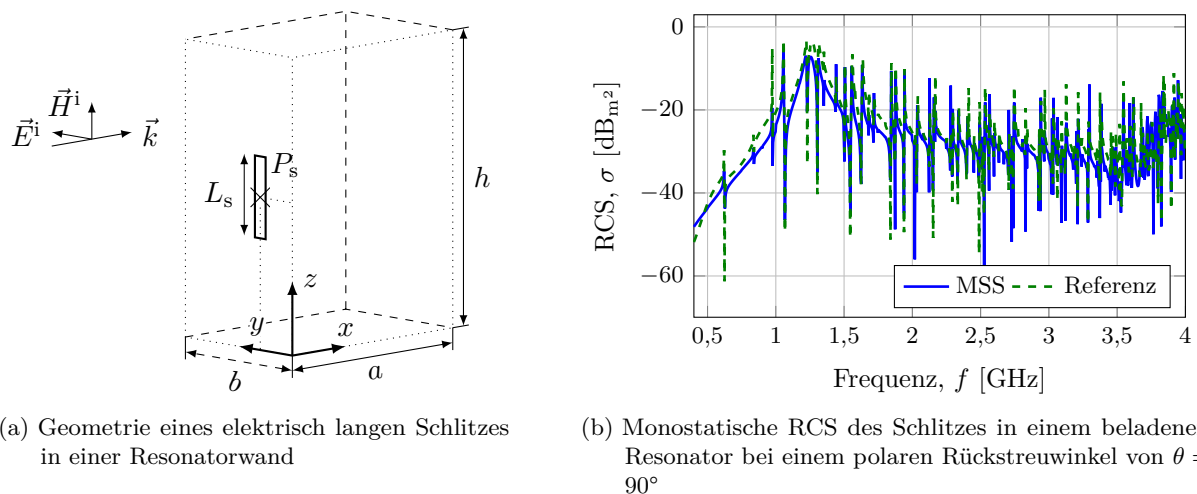
Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16EMO0120K vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Streuung elektromagnetischer Wellen an elektrisch großen Schlitzen in quaderförmigen Resonatoren²²

Es wurde ein neuartiges, effizientes Verfahren zur Berechnung der Streuung an einfachen elektrisch großen Strukturen entwickelt. Dabei wird das Gesamtproblem mit Hilfe der Methode der kleinen Streuer (engl. Method of Small Scatterer, MSS) in mehrere analytische Teilprobleme zerlegt. Das Ergebnis ist eine Systemmatrix, deren Einträge für den Freiraum, den Halbraum und Resonatoren verschiedener Geometrien analytisch und damit sehr schnell bestimmt werden können. Das Verfahren wird anhand eines vergleichsweise einfachen Problems der Streuung an einem elektrisch langen Leiter im Freiraum abgeleitet und anschließend auf einen Schlitz in einer Resonatorwand übertragen. In Abbildung 3.29a ist die Geometrie der untersuchten Anordnung dargestellt. Mit der MSS kann die Rückstreuung des Schlitzes (siehe Abbildung 3.29b) in einem Bruchteil des nötigen Rechenaufwandes, im Vergleich zu üblichen Verfahren, bestimmt werden.

²²von Dipl.-Phys. Jörg Petzold



(a) Geometrie eines elektrisch langen Schlitzes in einer Resonatorwand

(b) Monostatische RCS des Schlitzes in einem beladenen Resonator bei einem polaren Rückstreuwinkel von $\theta = 90^\circ$

Abbildung 3.29: Streuung elektromagnetischer Wellen an elektrisch großen Schlitzes in quaderförmigen Resonatoren

Netzwerkmodelle für abgeschirmte Kabel²³

Geschirmte Leitungen werden in vielen elektrischen Systemen verwendet, um den Innenleiter vor leitungs- und feldgebundenen Störungen zu schützen. Geflochtene Schirme bieten dabei eine höhere Flexibilität bei der Kabelführung als durchgehende Metallzylinder und werden daher häufiger verwendet. Durch die sich durch die Verflechtung ergebenden Öffnungen in der Abschirmung können Felder bis zu dem Innenleiter vordringen und das System stören. Diese Kopplungsmechanismen können in Netzwerksimulationsprogrammen nur in sehr begrenztem Umfang untersucht werden, da ihre Bibliotheken noch keine Modelle abgeschirmter Kabel über einer Masseebene aufweisen. Dies schränkt die EMV-Analyse geschirmter Systeme maßgeblich ein.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Netzwerkmodelle für geschirmte Leitungen basierend auf Leitungstheorie entworfen, die die Kopplung zwischen dem Außen- und Innenbereich des Schirmes und vice versa berücksichtigen. Damit sind sie für eine netzwerkbasierte Systemanalyse geeignet. Die entworfenen Netzwerke können die induzierten Spannungen aufgrund einfallender ebener Wellen berechnen und eine leitungsgebundene EMV-Analyse im Frequenz- und Zeitbereich durchführen. Die Modelle können sowohl Einzelkoaxialkabel als auch geschirmte Mehrfachleiter repräsentieren.

Ein Simulationsbeispiel für ein Kabel mit vier Innenleitern ist in Abbildung 3.30 dargestellt. Eine gepulste ebene Welle mit dem Einfallswinkel θ und dem elektrischen Feld \vec{E}^i bestrahlt das Kabel. Die über R_{i11} induzierte Störspannung des internen Systems ist in Abbildung 3.31 dargestellt. Ein Vergleich mit einer kommerziellen Feldsimulationssoftware, in Abbildung 3.31 bezeichnet als „Numeric“, validiert die Ergebnisse.

Kompetenzzentrum eMobility²⁴

Hierbei konzentrieren sich die Arbeiten auf die Entwicklung und Erprobung einer wartungsfreundlichen Energiespeichertechnologie in Modulbauweise, neue, einfache Systemarchitekturen

²³ von M. Sc. Moustafa Raya

²⁴ von M. Sc. Moustafa Raya

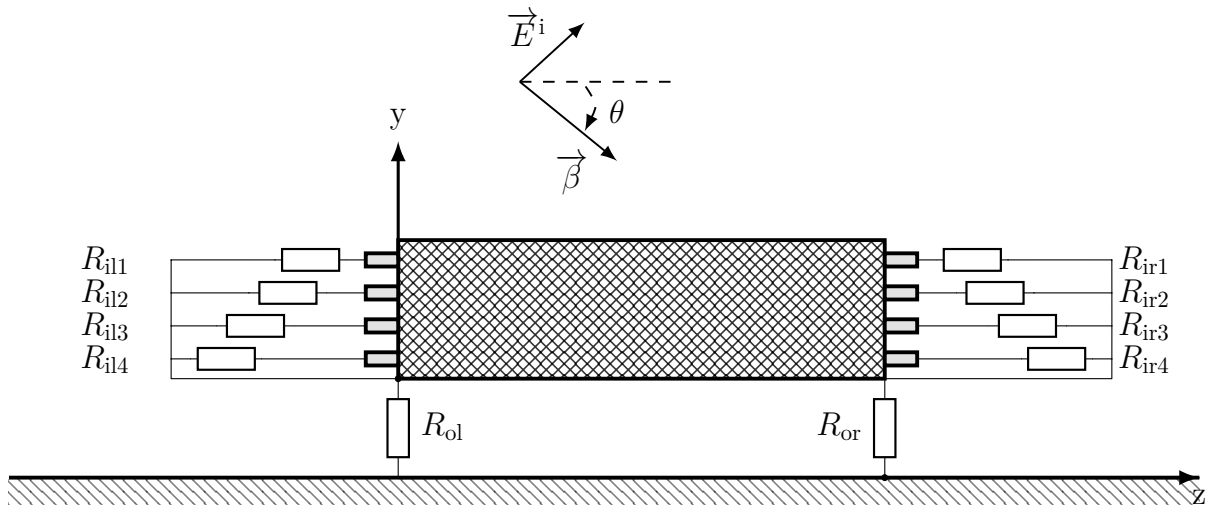


Abbildung 3.30: Simulationsbeispiel der geschirmten Leitung.

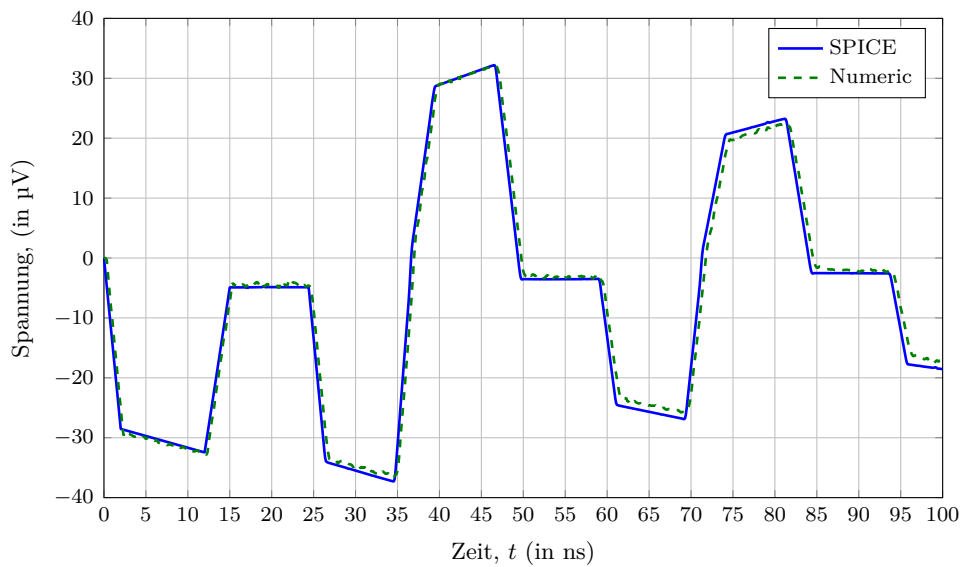


Abbildung 3.31: Simulationsergebnisse der geschirmten Leitung.

für Fahrzeugsteuerungen und die systemische Gestaltung von Spezialanwendungen rund um die Batteriekonfektionierung.

Im Rahmen des Teilprojektes „Energieeffizientes, sicheres Hochvoltnetz für Elektrofahrzeuge“ wird eine Architektur für eine modulare Fahrzeugbatterie erarbeitet. Die aus vielen Modulen zusammengesetzte Batterie ist über eine Leistungselektronik an das Hochvolt-Bordnetz angeschlossen. Die Leistungselektronik stellt das erforderliche Klemmenverhalten ein und ist für das Lade-/Entlademanagement verantwortlich.

Bereits im Entwurfsstadium auf Baugruppen- und Systemebene soll durchgängig die elektromagnetische Verträglichkeit berücksichtigt werden. Hierzu werden u. a. Feldsimulationsmodelle für die Einzelzellen und das Batteriesystem erstellt. Dies ist von großer Bedeutung, für die unmittelbare Anwendbarkeit der erzielten Ergebnisse in realen Systemen.

Im Forschungsbereich autonomes Fahren werden die ersten Grundlagen zum Aufbau einer Prüfumgebung für autonome Fahrzeuge geschaffen. Langfristiges Ziel ist der Nachweis der Funktionalität des Gesamtfahrzeuges als *Hardware in the Loop*. Es erfolgt der Aufbau der erforderlichen Kompetenzen im Bereich Test und Prüfung von Komponenten und Systemen des autonomen Fahrens. Dieses stellt einen wichtigen ersten Schritt zur Etablierung und zum Aufbau von Kompetenzen im autonomen Fahren selbst dar und ist zunächst eng fokussiert auf das Thema Test und Prüfung, welches methodisch und versuchstechnisch gemeinsam bearbeitet wird. Im Teilprojekt „Prüfumgebung für automatisierte und autonome Elektrofahrzeuge“ werden grundlegende Betrachtungen zur Nutzung einer Radartargetsimulation für automotiv Anwendungen durchgeführt.

Messung der statistischen Feldeinkopplung in ein Leitungsnetzwerk aus geschirmten Koaxialkabeln in einer Modenverwirbelungskammer²⁵

Die Einkopplung statistischer elektromagnetischer Felder in ein Leitungsnetzwerk aus geschirmten (koaxialen) Kabeln über einer Massefläche wurde experimentell in einer Modenverwirbelungskammer für einen weiten Frequenzbereich untersucht. Das Leitungsnetzwerk bestand dabei aus drei Kabeln unterschiedlicher Länge, siehe Abbildung 3.32.

Mit Hilfe eines Vektornetzwerkanalysators wurden die Streuparameter zwischen einer Antenne und den Leitungsenden gemessen und in den Mittelwert des Betragsquadrats der eingekoppelten Spannung umgerechnet, siehe Abbildung 3.33. Um den Einfluss der Ausrichtung der Leitungen, der Leitungslängen sowie der Abschlusswiderstände und der Anbindung des Schirmes an den Leitungsenden auf die Leitungsresonanzen zu untersuchen, wurden verschiedene Konfigurationen des Leitungsnetzwerkes untersucht. In der Nähe dieser Resonanzfrequenzen werden besonders hohe eingekoppelte Spannungen erreicht, die in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit von angeschlossenen Geräten und System von Interesse sind.

Transiente Simulation der Einkopplung ebener Wellen in Leitungsnetzwerke mit nichtlinearen Abschlüssen²⁶

Im Forschungsprojekt wurde ein transientes Simulationsverfahren entwickelt, das die Einkopplung ebener Wellen mit beliebigen Zeitfunktionen und Einfallsrichtungen in ein Leitungsnetzwerk aus Einfachleitungen über einer perfekt-leitfähigen Masseebene (siehe Abbildung 3.34) analysieren kann.

²⁵ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

²⁶ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

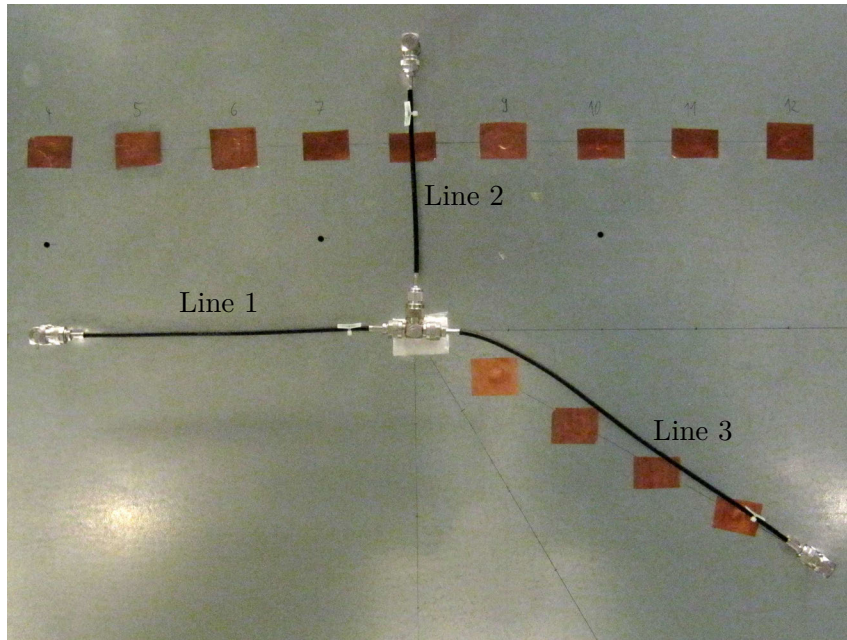


Abbildung 3.32: Geschirmtes Leitungsnetzwerk über einer leitfähigen Masseebene. Alle Leitungen sind hinter der Masseebene mit $50\ \Omega$ -Widerständen angeschlossen.

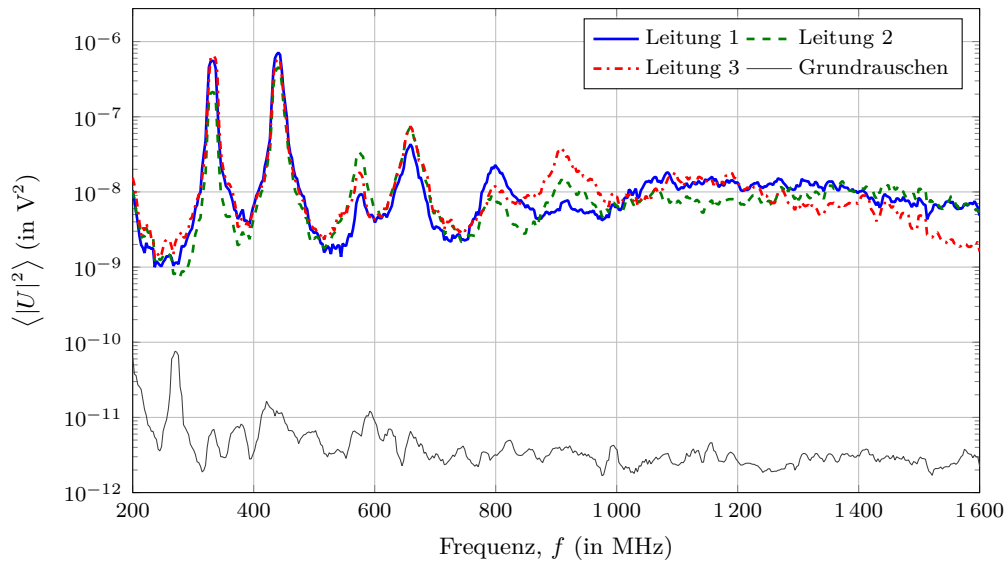


Abbildung 3.33: Mittelwert des Betragsquadrats der eingekoppelten Spannung an den Leitungsenden des geschirmten Leitungsnetzwerks aus Koaxialkabeln für eine kammer-spezifische Konstante von $1 \frac{V}{m}$

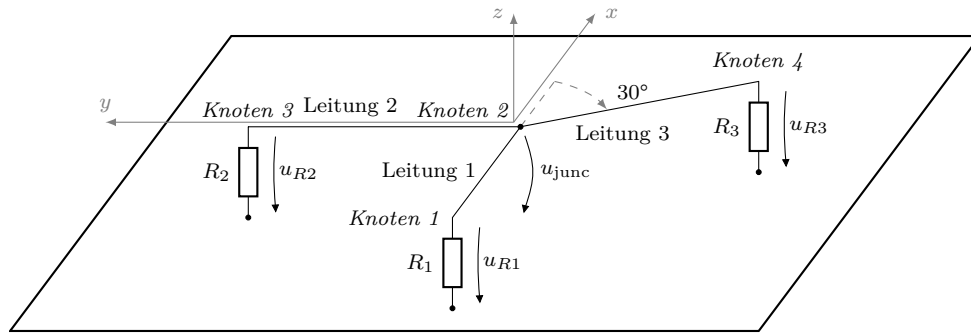


Abbildung 3.34: Beispielhaft untersuchtes Netzwerk aus drei Einfachleitungen über einer perfekt-leitfähigen Masseebene in der x - y -Ebene. Die Leitungen treffen in einem Verbindungsknoten aufeinander, der nicht mit der Masseebene verbunden ist. Der Koordinatenursprung liegt unterhalb dieses Knotens in der Masseebene.

Die Berechnung im Zeitbereich erlaubt die Berücksichtigung nichtlinearer Leitungsabschlüsse wie z. B. Dioden. Dabei wird das Leitungsnetzwerk basierend auf klassischer Leitungstheorie in ein äquivalentes Ersatzschaltbild (siehe Abbildung 3.35) mit verteilten und konzentrierten Spannungsquellen zur Berücksichtigung der Feldeinkopplung umgewandelt.

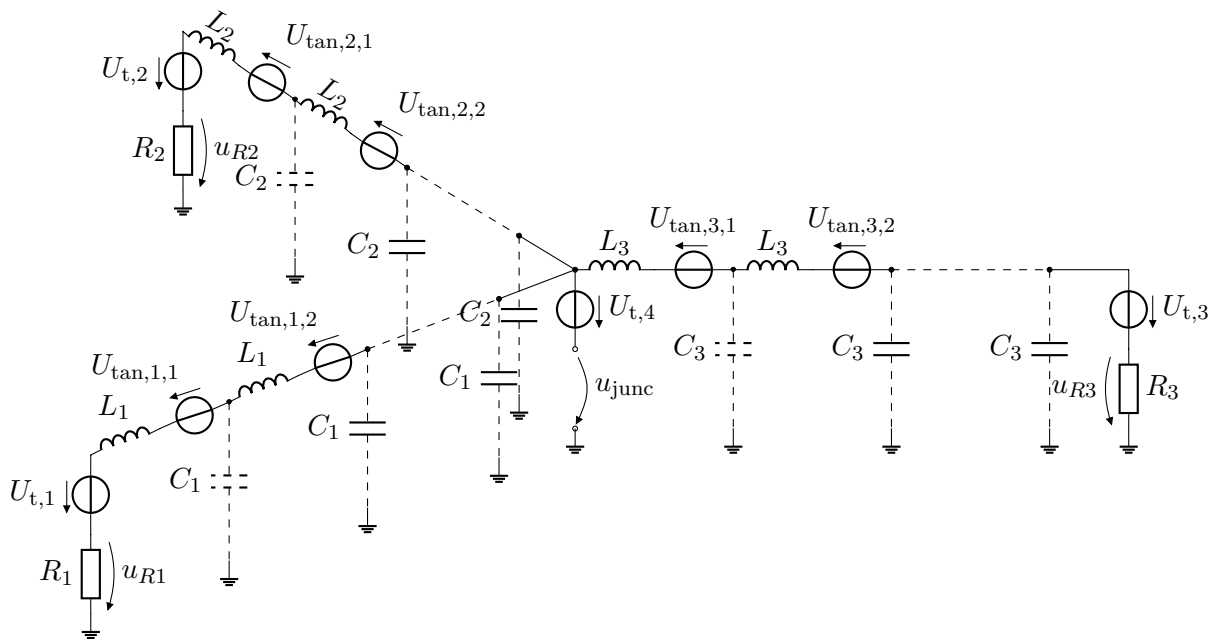


Abbildung 3.35: Äquivalentes Ersatzschaltbild des beispielhaft untersuchten Leitungsnetzwerks aus drei Einfachleitungen über einer perfekt-leitfähigen Masseebene. Die einfallende ebene Welle wird entsprechend der Agrawal-Formulierung der Leitungsgleichungen durch verteilte Quellen entlang der Leitungen und durch konzentrierte Quellen an den Leitungsenden berücksichtigt.

Diese Ersatzschaltung wird dann mit einem Netzwerklöser programmiert in MATLAB auf Basis der modifizierten Knotenspannungsanalyse simuliert. Das Modell wurde zunächst mit linearen Abschlüssen gegen eine bekannte Lösung im Frequenzbereich validiert (siehe Abbildung 3.36). Anschließend wurden beispielhafte Ergebnisse für ein Leitungsnetzwerk aus drei Leitungen mit unterschiedlichen Konfigurationen von Dioden in Parallelschaltung zu einem Lastwiderstand simuliert und diskutiert.

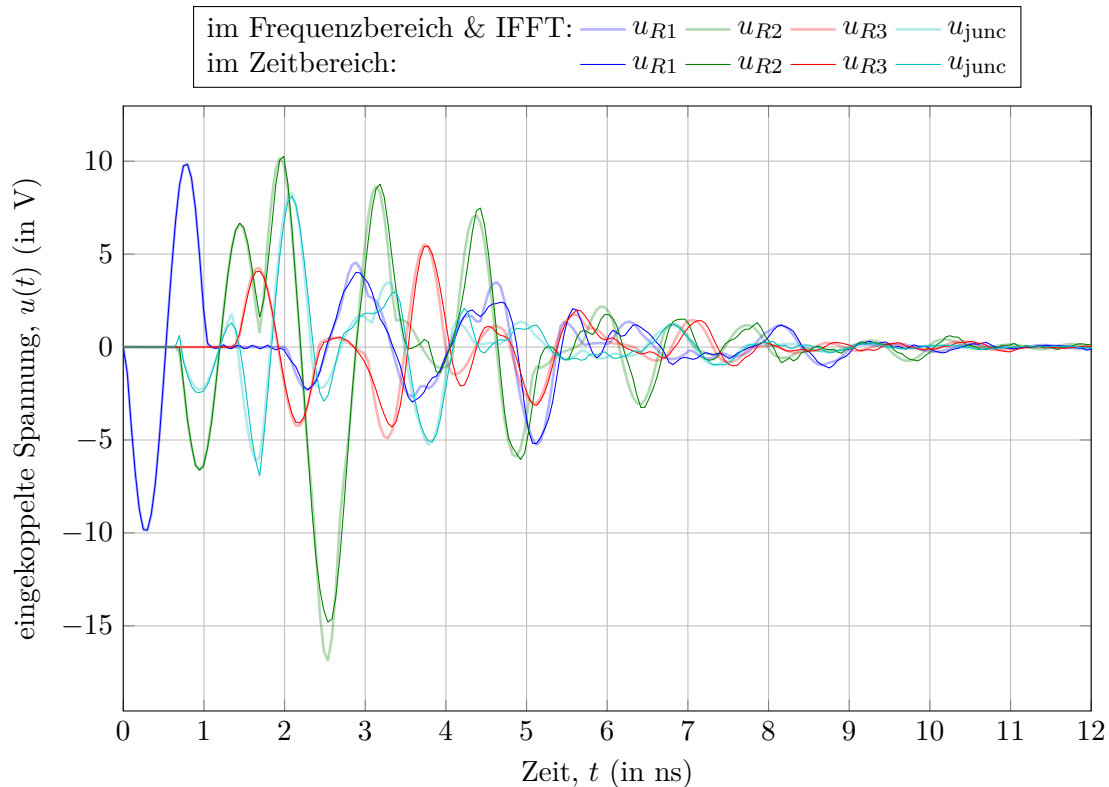


Abbildung 3.36: Beispielhaft simulierte Spannungen an den Leitungsenden des linear abgeschlossenen Netzwerks für eine Anregung mit einer ebenen Welle aus Richtung der Leitung 1

Resonanzfrequenzen von Mehrfachleitungen²⁷

Leitungen werden in fast jedem elektrischen System zur Leistungs- oder Signalübertragung verwendet. Über sie können jedoch auch ungewollt externe elektromagnetische Felder einkoppeln und empfindliche Komponenten stören. Oft ist aber nicht bekannt wie genau diese externen Felder aussehen. Daher ist es in der EMV sinnvoll, das System unabhängig von einer speziellen Anregung zu untersuchen.

In diesem Projekt wurden daher die komplexen Resonanzfrequenzen von Mehrfachleitungen analytisch untersucht. Grundlage für die Analyse ist die Bestimmung der Reflexionskoeffizientenmatrix der entsprechenden Leitungsenden. Dazu wurde die iterative Methode, welche im letzten Jahr auf eine Einfachleitung angewandt wurde, für Mehrfachleitungen verallgemeinert. Der Vorteil dieser Methode gegenüber der klassischen Leitungstheorie ist die Berücksichtigung von Strahlungsverlusten am Ende der Leitungen. Die analytischen Approximationen stimmen sehr gut mit einer numerischen Referenz überein.

In diesem Zusammenhang konnte das sogenannte „Frequency Splitting“ beobachtet und näher analysiert werden. Für N Leitungen befinden sich immer N Resonanzfrequenzen in einer kleinen Umgebung. D. h. die eine Resonanzfrequenz der Einfachleitung teilt sich in N leicht unterschiedliche Resonanzfrequenzen auf. Je geringer der Abstand der Leitungen ist, desto stärker ist dieser Effekt im physikalischen Frequenzbereich beobachtbar.

²⁷ von M. Sc. Felix Middelstädt

Sicherung der Versorgungsqualität durch optimierten Einsatz verteilter, aktiver Oberschwingungsfiler in Verteilnetzen (SiQuaNetz)²⁸

Aufgrund von Oberschwingungsströmen, deren Ursache in der zunehmenden Nutzung leistungselektronischer Stellglieder liegt und deren Rückwirkungen mit den im Netz vorhandenen Impedanzen, können Störungen im Betrieb eines Energieversorgungsnetzes und in Folge dessen bei den untergeordneten Netzanschlussnehmern auftreten. Eine etablierte Lösung für das Problem stellt dabei der Einsatz aktiver Filter zur Filterung von Oberschwingungsströmen dar. Solche Filter werden als selbstgeführte, dreiphasige Wechselrichterbrücken mit Gleichspannungszwischenkreis (engl. Voltage Source Inverter, VSI), ähnlich eines Photovoltaikwechselrichters, parallel zur zu kompensierenden Last angeschlossen. Aus dem zu messenden Laststrom des Verbrauchers wird ein Kompensationsstrom ermittelt, der zusätzlich zum Laststrom in das Netz eingespeist wird. Das Prinzip bedarf dabei grundsätzlich des Einsatzes von Stromwandlern und kann unter bestimmten Umständen dazu führen, dass die Spannung trotz Stromkompensation eine zunehmende Verzerrung erfährt. Andere an der Sammelschiene angeschlossene Verbraucher könnten folglich einer höheren Störung ausgesetzt sein.

Das Projekt **SiQuaNetz** verfolgt deshalb den Ansatz der SpannungsKompensation, bei dem die Spannung am Anschlusspunkt (engl. Point of common coupling, PCC) analysiert und vom Filter ein solcher Strom eingespeist wird, das sich ungewollte Anteile gegenseitig auslöschen. Der Vorteil dabei ist, dass Spannungen sowie Ströme ohne den Einsatz von Stromwandlern so kompensiert werden, dass sich derer Verzerrungsgrad im Gesamtsystem verbessert und am Verknüpfungspunkt angeschlossene Verbraucher eine nahezu ideale Spannung vorfinden.

Weiterführend wird dieser Regelansatz so angepasst, dass mehrere Filter nach diesem Prinzip in einem Netzbereich eingesetzt werden können und diese sich die zu erbringende Kompensationsleistung teilen. Das Prinzip der Kompensation auf Basis der Spannungsmessung ist in Abbildung 3.37 dargestellt und verdeutlicht die Strom- und Spannungsbeziehungen in einem definierten Netz ohne (siehe Abbildung 3.37a) und mit (siehe Abbildung 3.37b) Einsatz eines solchen Filters.

Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 0350052A vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

3.3.3 Promotionen

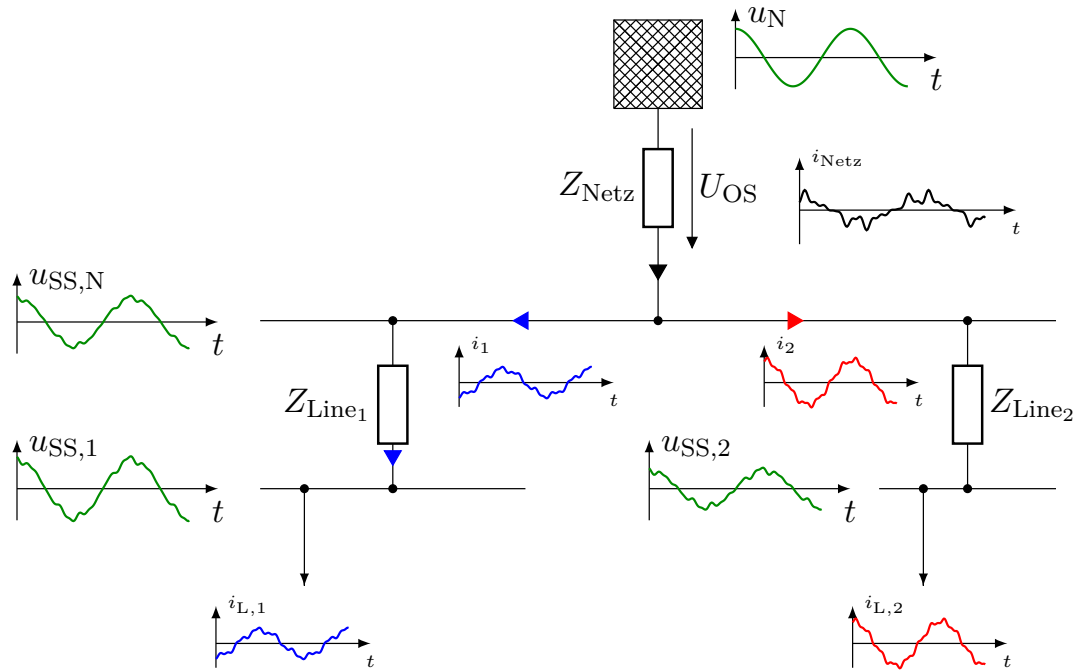
In diesem Jahr wurden am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit keine Doktoranden promoviert.

3.3.4 Preise

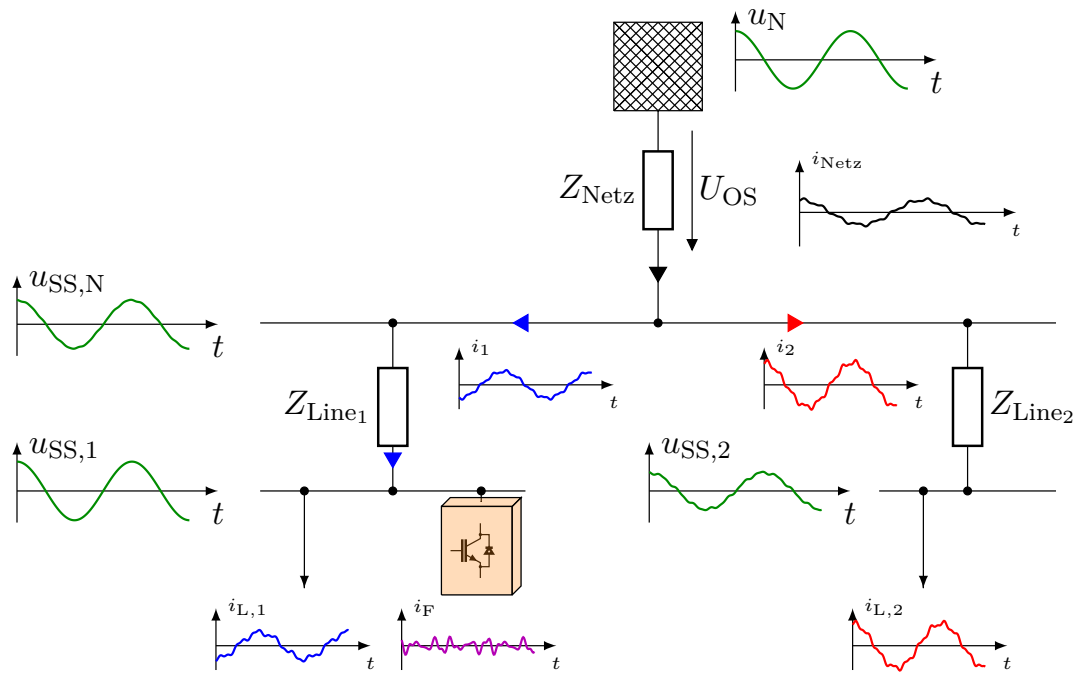
Dr.-Ing. Mathias Magdowski wurde von der *Electromagnetic Compatibility Society* innerhalb des IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) für seine umfassende Gutachtertätigkeit als „2018 Distinguished Reviewer of the IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility“ ausgezeichnet (siehe Abbildung 3.38).

Außerdem wurde Dr.-Ing. Mathias Magdowski im Rahmen des Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2019, das vom 17. bis 20. Juni an der ingenieurwissenschaftlichen

²⁸ von M. Sc. Benjamin Hoepfner



(a) Netz mit OS-Verursachern, Verzerrung aller Größen



(b) Spannungskompensation am PCC, Kompensation im Gesamtsystem

Abbildung 3.37: Prinzipdarstellung der OS-Kompensation durch Spannungsmessung am PCC



Abbildung 3.38: Auszeichnung von Dr.-Ing. Mathias Magdowski als „2018 Distinguished Reviewer of the IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility“

Fakultät der Universität „La Sapienza“ in Rom stattfand, mit einem *Young Scientist Award* für seinen Beitrag mit dem Titel „Transient Simulation of the Pulse Excitation of Transmission Line Networks with Linear and Nonlinear Loads in Reverberation Chambers“ ausgezeichnet (siehe Abbildung 3.39).

3.3.5 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] M. Raya und R. Vick, „Network Model of Shielded Cables for the Analysis of Conducted Immunity and Emissions“, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, S. 1–8, 2018, ISSN: 0018-9375. DOI: 10.1109/TEMC.2018.2883384.
- [2] S. V. Tkachenko, J. B. Nitsch, M. Raya, R. Vick, S. Šesnić und D. Poljak, „Propagation of Current Waves Along Transmission Lines with Stochastic Geometry in a Rectangular Resonator“, in *4th Workshop on Uncertainty Modeling for Engineering Applications*, Split, Kroatien, Dez. 2018.
- [3] M. Magdowski, „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer-Review“, in *Hochschule digital.innovativ | #digiPH Tagungsband zur 1. Online-Tagung*, M. Miglbauer, L. Kieberl und S. Schmid, Hrsg., Books on Demand GmbH, Norderstedt, Dez. 2018, S. 327–340, ISBN: 9783748120056. Adresse: <https://www.fnma.at/content/download/1529/5759>.
- [4] M. Magdowski, „QR-Code-Papier zum automatischen Korrekturversand“, in *Hochschule digital.innovativ | #digiPH Tagungsband zur 1. Online-Tagung*, M. Miglbauer, L. Kieberl und S. Schmid, Hrsg., Books on Demand GmbH, Norderstedt, Dez. 2018, S. 341–348, ISBN: 9783748120056. Adresse: <https://www.fnma.at/content/download/1529/5759>.



Abbildung 3.39: Auszeichnung von Dr.-Ing. Mathias Magdowski mit einem „Young Scientist Award“ beim Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2019

- [5] J. Kasper und R. Vick, „Numerical Investigation of the Stochastic Field-to-Wire Coupling to Transmission Lines With Small Bend Angles“, in *ESA Workshop on Aerospace EMC*, Budapest, Ungarn, Mai 2019, S. 1–5.
- [6] M. Magdowski, B. R. Banjade und R. Vick, „Measurement of the Field-to-Wire Coupling to Transmission Line Networks of Shielded Cables in a Reverberation Chamber“, in *ESA Workshop on Aerospace EMC*, Budapest, Ungarn, Mai 2019, S. 1–5.
- [7] J. Kasper, M. Magdowski, R. Vick, L. Galeev, G. Iukhtanov, E. Fedorov und A. Ferenets, „Time Domain Investigation of the Plane Wave Coupling to a Non-Linearly Loaded Transmission Line Network“, in *ESA Workshop on Aerospace EMC*, Budapest, Ungarn, Mai 2019, S. 1–6.
- [8] M. Magdowski und R. Vick, „Transient Simulation of the Plane Wave Coupling to Non-Linearly Loaded Transmission Line Networks“, in *Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Sapporo, Japan, Mai 2019, S. 1–4.
- [9] M. Magdowski und R. Vick, „Transient Simulation of the Pulse Excitation of Transmission Line Networks with Linear and Nonlinear Loads in Reverberation Chambers“, in *Progress In Electromagnetics Research Symposium, PIERs*, Rom, Italien, Juni 2019, S. 6.
- [10] J. Loviscach und M. Magdowski, „Audience Response durch Zeichnen statt Clickern – Ein webbasiertes System zum kollaborativen grafischen Lösen von Aufgaben“, in *Teaching Trends 2018 – Die Präsenzhochschule und die digitale Transformation*, S. Robra-Bissantz, O. J. Bott, N. Kleinfeld, K. Neu und K. Zickwolf, Hrsg., Waxmann Verlag GmbH, Münster, Aug. 2019, S. 189–194, ISBN: 978-3-8309-4012-8. Adresse: <https://www.waxmann.com/buch4012>.

- [11] M. Magdowski, „Eine „umgedrehte“ Video-Nachbesprechung einer Leistungskontrolle im E-Technik-Grundstudium“, in *DELFI 2019*, N. Pinkwart und J. Konert, Hrsg., Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2019, S. 295–296, ISBN: 978-3-88579-691-6. DOI: 10.18420/delfi2019_286.
- [12] B. Hatscher, A. Mewes, E. Pannicke, U. Kägebein, F. Wacker, C. Hansen und B. Hensen, „Touchless scanner control to support MRI-guided interventions“, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Sep. 2019, ISSN: 1861-6429. DOI: 10.1007/s11548-019-02058-1.
- [13] T. Gerlach, E. Pannicke, M. Prier, F. Seifert, O. Speck und R. Vick, „Setup of an Ablation Magnetic Resonance Imaging Hybrid System: Using MR Imaging Sequences to Destroy Tissue“, in *Proceedings of the 41st Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Berlin, Germany, 2019, S. 2508–2512. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857894.
- [14] T. Gerlach, E. Pannicke, O. Speck und R. Vick, „MR Thermometry with an Ablation Electrode“, in *4th Image-Guided Interventions Conference*, Mannheim, Germany, 2019.
- [15] M. Raya und R. Vick, „SPICE Models for one-conductor and three-conductor lines excited by a uniform plane wave“, in *2019 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Power Integrity (EMC+SIPI)*, Juli 2019, S. 360–365, ISBN: 978-1-5386-9199-1. DOI: 10.1109/ISEMC.2019.8825267.
- [16] M. Raya und R. Vick, „Network model of shielded cables for radiated and conducted EMC analysis“, in *2019 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Power Integrity (EMC+SIPI)*, Juli 2019, S. 304–309, ISBN: 978-1-5386-9199-1. DOI: 10.1109/ISEMC.2019.8825208.
- [17] S. V. Tkachenko, J. B. Nitsch, F. Middelstädt, R. Rambousky, M. Schaarschmidt und R. Vick, „Singularity Expansion Method for Thin Wires and the Method of Modal Parameters“, *Advances in Radio Science*, Jg. 17, S. 177–187, 2019. DOI: 10.5194/ars-17-177-2019. Adresse: <https://www.adv-radio-sci.net/17/177/2019/>.
- [18] F. Middelstädt, S. V. Tkachenko und R. Vick, „Analysis of an Iterative Approach to Determine the Current on the Straight Infinite Wire Above Ground“, *Advances in Radio Science*, Jg. 17, S. 169–176, 2019. DOI: 10.5194/ars-17-169-2019. Adresse: <https://www.adv-radio-sci.net/17/169/2019/>.
- [19] F. Middelstädt, S. V. Tkachenko und R. Vick, „Natural Frequencies of Long Symmetric Multiconductor Transmission Lines“, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Jg. 67, Nr. 6, S. 3881–3888, Juni 2019, ISSN: 1558-2221. DOI: 10.1109/TAP.2019.2902748.
- [20] F. Middelstädt, S. V. Tkachenko und R. Vick, „Singularity Expansion Method (SEM) for Open-Circuited Wires Above Ground“, in *ASIAEM 2019 Asian Electromagnetics Symposium*, Aug. 2019.

Dissertationen und Bücher

- [1] M. Magdowski und R. Vick, „Elektromagnetische Verträglichkeit“, in *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen – vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb*, H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Hrsg., Ser. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019, S. 365–374, auch als eBook verfügbar, ISBN: 978-3-662-60355-0/978-3-662-60356-7. DOI: 10.1007/978-3-662-60356-7.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] M. Magdowski, „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer-Review“, in *HFD Hangout – Online-Meeting für Interessierte aus dem Netzwerk für die Hochschullehre des Hochschulforums Digitalisierung*, L. Esch, Hrsg., Feb. 2019. Adresse: <https://hochschulforumdigitalisierung.de/de/hfd-hangout>.
- [2] M. Magdowski, „Und was machen Sie so? – Wissenschaftskommunikation außerhalb Academia“, in *Forschungsarbeit verständlich kommunizieren – Lunchtimelecture*, Graduate Academy der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Konferenzraum der oberen Mensa, Mai 2019.
- [3] M. Magdowski, „Wie kann ich mit H5P aktivierende Elemente in Lehrvideos integrieren?“, in *Angebote zur Lehrentwicklung – Sommerakademie*, Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung (ZWW) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Älter Hafenmeistereim Wissenschaftshafen), Mai 2019.
- [4] M. Magdowski, „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer Review“, in *Lightning Talk zur Summer School des Hochschulforums Digitalisierung*, Akademie Berlin-Schmöckwitz, Juli 2019. Adresse: https://www.youtube.com/watch?v=LDw_Ifmg2WM.
- [5] M. Magdowski, „Erklärvideos selbst gestalten“, in *Workshop zur Summer School des Hochschulforums Digitalisierung*, Akademie Berlin-Schmöckwitz, Juli 2019.
- [6] M. Magdowski, „Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer Review in den Grundlagen der Elektrotechnik“, in *Jahrestagung interStudies_2 – UPtoDATE: Hochschullehre im digitalen Zeitalter*, Universität Greifswald, Okt. 2019. Adresse: <https://www.overleaf.com/read/jrkcntwjdv>.
- [7] M. Magdowski, „Grundlagen Elektromagnetischer Verträglichkeit“, in *EMV Boot Camp*, Dassault Systèmes, Dresden: IEEE EMC German Chapter, Nov. 2019.
- [8] J. Petzold, „Ganzheitliche Optimierung energieeffizienter Antriebslösungen für Elektrofahrzeuge (GENIAL-Projekt)“, in *17. Magdeburger EMV-Industrieseminar zur Zukunft der praktischen Umsetzung der EMV*, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Nov. 2019.
- [9] B. Hoepfner, „Neues zu den Möglichkeiten der Nutzung des Power-Quality-Labors für die Industrie und industrielle Forschung in der Experimentellen Fabrik“, in *17. Magdeburger EMV-Industrieseminar zur Zukunft der praktischen Umsetzung der EMV*, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Nov. 2019.
- [10] M. Magdowski, „Wie holt man das ‚Wer wird Ingenieur?‘-Gefühl in die Vorlesung?“, in *Workshop zum Tag der Lehre*, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Mai 2019.

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 neben weiterentwickelten MOSFETs, IGBTs und Dioden aus Silizium insbesondere 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 v. a. Stromversorgungen und Antriebsumrichter 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 2019 bearbeiteten Themen mit Bezug auf leistungselektronische Bauelemente und Systeme werden im folgenden Abschnitt detaillierter erläutert.

3.4.2 Forschungsprojekte

Direct Approach of Simultaneously Eliminating EMI-Critical Oscillations and Decreasing Switching Losses for Wide Bandgap Power Semiconductors²⁹

Most power electronic circuits naturally suffer from undesirable oscillations, which increase circuit stress and electromagnetic interference. These oscillations can, for example, arise from commutation cell resonance, and are particularly problematic in fast-switching SiC and GaN circuits. Damping these oscillations by active gate driving has been previously proposed as an alternative to limiting the switching speed or further minimizing parasitic inductance. However,

²⁹von M. Sc. Lars Middelstädt et al.

for active drivers with almost unlimited degrees of freedom in the choice of gate driving profiles, fast and efficient profile optimization techniques have yet to be developed. Four key measurable indicators have been analytically determined, which help to find optimal gate signal shaping settings for an active driver. These include the device voltage gradient, as well as the gradient and overshoot level at specific points in the transient current. This optimization strategy is tested by using it to find the optimal settings for a variable-resistance active gate driver in a 400 V-GaN boost converter. Measurements of switching transients and radiated electromagnetic emissions show experimentally that the proposed strategy reduces noise and switching loss at the same time. Compared to slower nonactive driving, radiated electromagnetic emissions are down by 10 dB, and losses by 6%. Details are given in [1].

Investigation of the threshold voltage shift of SiC MOSFETs during power cycling tests³⁰

Power cycling (P/C) tests are performed to trigger package related failures under accelerated conditions. In case of silicon carbide (SiC) MOSFETs however, a shift of the threshold voltage V_{th} which is caused by carrier trapping within the chip and thus not related to packaging fatigue may cause the usual failure criteria to be met as well as an undesired shift of the operating point. To investigate its influence and permit to separate the effects, this V_{th} shift has been investigated. For this purpose, a power cycling test bench has been equipped with a measurement facility for ΔV_{th} during each power cycle, cf. Fig. 3.40. Commercial discrete SiC power MOSFETs have served as exemplary devices under test.

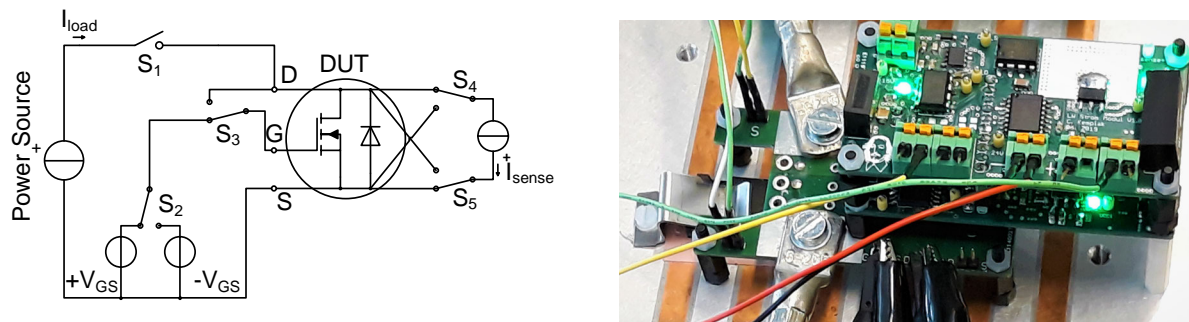


Figure 3.40: Schematic and hardware of the extended measurement facility in the power cycling test bench

Design, Qualifizierung und Selbsttest für Leistungselektronik mit extrem hoher Lebensdauer³¹

Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur testbasierten Qualifizierung leistungselektronischer Baugruppen für extrem hohe Zyklenzahlen. Die hierfür im Berichtszeitraum durchgeführten Lastwechseltests generieren die Datenbasis für die folgenden Untersuchungen: Insbesondere muss eine Lebensdauerkurve für die exemplarisch untersuchten Leistungshalbleiter-Bauelemente ermittelt werden. Diese basiert für jeden Bauelement-Typ auf mehreren bis zum Ausfall durchgeführten Lastwechsel-Prüfungen. Typischerweise werden diese mittels gesteuerter Bestromung der Prüflinge durchgeführt. Es wird jeweils zumindest eine Prüfung vorgesehen, bei der die Prüflinge aufgrund der scharfen Messbedingungen eine relativ niedrige, sowie eine weitere, bei der diese eine hohe Lebensdauer erreichen. Hierbei kann die bereits nach dem Stand der Technik erreichbare Zyklenzahl modernster Bauelemente, wie sie als

³⁰ von M. Sc. Carsten Kempiaak

³¹ von M. Sc. Carsten Kempiaak

Untersuchungsgegenstand dienen, zu einer besonders langen Dauer der beschleunigten Tests von bis zu mehreren Monaten führen.

Die Lastwechselversuche sollten anwendungsnah gemäß AQG 324 durchgeführt werden, wobei bei der ersten Testreihe möglichst schnell und gezielt das gewünschte Fehlerbild auf der Oberseite der Chips auszulösen war. Hierfür wurde ein Lastwechselprotokoll mit kurzen Einschaltzeiten des Laststromes vorgesehen, Abbildung 3.41. Die Einschaltzeit t_{on} , die Ausschaltzeit t_{off} und der Laststrom I_L blieben während der Testdurchführung konstant. Der Sperrschichttemperaturhub ΔT_j und die mittlere Sperrschichttemperatur $T_{j,m}$ hingegen wurden als Arbeitspunkt zu Testbeginn definiert und dokumentiert, ändern sich aber während der Testdurchführung infolge von Degradationen. Der Temperaturhub zu Testbeginn wurde hierbei über die Verlustleistung P_V durch Anpassung der Gate-Emitterspannung U_{GE} und die mittlere Temperatur durch Anpassung der Kühlmitteltemperatur T_W eingestellt. Erste Ergebnisse bestätigen, dass der zu untersuchende Fehlermechanismus in der Tat ausgelöst wurde.

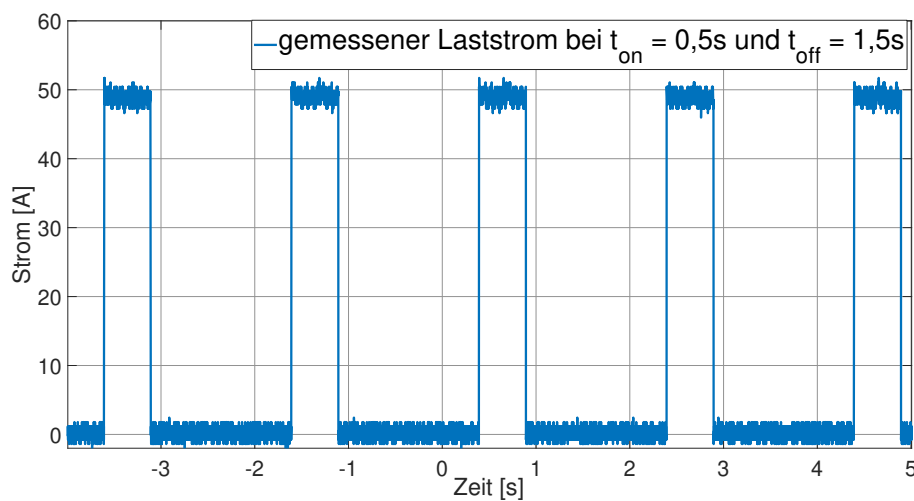


Abbildung 3.41: Gemessener Laststrom bei $t_{\text{on}} = 0,5\text{s}$

3D-Leistungselektronik

GaN-Leistungshalbleiter-Bauelemente sind mittlerweile in verschiedenen Gehäusevarianten verfügbar und stehen zur Einführung in industrielle Anwendungen bereit. Als moderne Aufbau- und Verbindungstechnik bietet sich anstelle konventioneller Oberflächenmontage auf Leiterplatte – siehe Abbildung 3.42 – die Einbettung (Embedding) an. Im Hinblick auf das damit hergestellte Gesamtsystem spielen die Zuverlässigkeit sowie die elektromagnetische Verträglichkeit eine große Rolle; zu diesen Aspekten sind weitergehende Untersuchungen geplant.

Energieeffizientes und EMV-gerechtes Hochvoltbordnetz für Elektrofahrzeuge

Die Untersuchungen sind einer Systemarchitektur mit einer modularen Fahrzeug-Batterie gewidmet: Die aus mehreren Modulen zusammengesetzte Batterie ist über eine Leistungselektronik an das Hochvolt-Bordnetz angeschlossen. Die Leistungselektronik stellt das erforderliche Klemmenverhalten ein und ist für das Lade- und Entlademanagement verantwortlich. Dieses Konzept erlaubt u. a. den Einsatz unterschiedlicher Zellentypen ohne Anpassung des Fahrzeugbordnetzes. Außerdem ist es möglich, das Hochvolt-Bordnetz bei einer geregelten und potentiell höheren Spannung als bisher üblich zu betreiben, was Optimierungspotential für Antriebskomponenten wie die elektrischen Maschinen sowie den Wirkungsgrad erschließt. Bereits im Entwurfsstadium

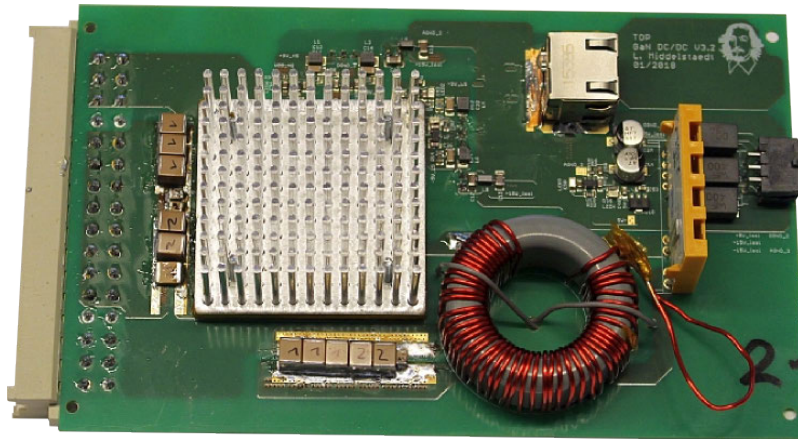


Abbildung 3.42: Zum Vergleich: Gleichstromsteller mit GaN-HEMTs in konventioneller Aufbau-technik auf Leiterplattenbasis

auf Baugruppen- und Systemebene soll durchgängig die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) berücksichtigt werden. Dies ist von großer Bedeutung für die unmittelbare Anwendbarkeit der erzielten Ergebnisse in realen Systemen.

3.4.3 Promotionen

Dr.-Ing. Jennifer Lautner: Untersuchung von Galliumnitrid-Transistoren für den Einsatz in der Antriebstechnik

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Bernhard Piepenbreier, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

verteidigt am 14. Juni 2019 an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Dr.-Ing. Guang Zeng: Some aspects in lifetime prediction of power semiconductor devices

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Josef Lutz, Technische Universität Chemnitz
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

verteidigt am 27. Juni 2019 an der TU Chemnitz

Dr.-Ing. Tobias Rosenbaum: Realisierung einer dynamischen Oberschwingungskompensation für industrielle Schweißprozesse

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Petzoldt, TU Ilmenau
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Dr.-Ing. Thomas Heck, Daimler AG Sindelfingen

verteidigt am 30. August 2019 an der TU Ilmenau

3.4.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] L. Middelstädt, J. Wang, B. H. Stark, and A. Lindemann, „Direct Approach of Simultaneously Eliminating EMI-Critical Oscillations and Decreasing Switching Losses for Wide Bandgap Power Semiconductors“, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 11, pp. 10 376–10 380, Nov. 2019. DOI: 10.1109/TPEL.2019.2913223.
- [2] A. Chupryn, L. Middelstädt, and A. Lindemann, „An Interleaved DC/DC Converter for Automotive Applications with GaN Power Semiconductors“, in *PCIM Europe 2019; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, May 2019, pp. 1–8.
- [3] A. Reuning, C. Pohling, and A. Lindemann, „Investigation of battery cells for prospective use in electric cars“, in *PCIM Europe 2019; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, May 2019, pp. 1–7.
- [4] C. Kempniak, A. Lindemann, S. Idaka, and E. Thal, „Investigation of an Integrated Sensor to Determine Junction Temperature of SiC MOSFETs During Power Cycling Tests“, in *2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia)*, May 2019, pp. 3084–3089.
- [5] L. Middelstädt, B. Strauß, and A. Lindemann, „Analyzing EMI issues in a DC/DC converter using GaN instead of Si power transistors“, in *2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia)*, May 2019, pp. 1–8.
- [6] L. Middelstädt, B. Strauß, A. Chupryn, and A. Lindemann, „Investigation of the Root Causes of Electromagnetic Noise of an Interleaved DC-DC Converter with GaN or Si Transistors and Corresponding Optimization Strategies“, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, pp. 1–1, 2019. DOI: 10.1109/JESTPE.2019.2917067.

Dissertationen und Bücher

- [1] A. Lindemann, „Elektrotechnische Grundlagen“, in *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen – vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb*, H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Hrsg., Ser. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019, S. 31–37, auch als eBook verfügbar, ISBN: 978-3-662-60355-0/978-3-662-60356-7. DOI: 10.1007/978-3-662-60356-7.
- [2] A. Lindemann, „Leistungselektronik“, in *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Grundlagen – vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb*, H. Tschöke, P. Gutzmer und T. Pfund, Hrsg., Ser. ATZ/MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019, S. 53–60, auch als eBook verfügbar, ISBN: 978-3-662-60355-0/978-3-662-60356-7. DOI: 10.1007/978-3-662-60356-7.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] A. Lindemann, „8th ECPE SiC & GaN User Forum — Potential of wide bandgap semiconductors in power electronic applications“, *A Media, Laboe*, Mai 2019, ISSN: 1863-5598.
- [2] C. Kempniak und A. Lindemann, „Messung des Schwellspannungsdrites von SiC MOSFETs während aktiver Lastwechselltests“, in *48. Kolloquium Halbleiter-Leistungselemente und ihre systemtechnische Anwendung*, Okt. 2019.

3.4.5 Veranstaltungen

8th ECPE SiC & GaN User Forum — Potential of Wide Bandgap Semiconductors in Power Electronic Applications³²

Overview Since more than 12 years the biannual ECPE Wide Bandgap User Forum has given advise and support to the introduction and the usage of SiC and GaN devices in power electronic systems. Major progress has been achieved, with today a multitude of SiC diodes and transistors being available and used in series products. For those, special aspects gain importance, such as robustness or qualification when exposed to demanding mission profiles. On the other hand ongoing research and development work is dedicated e. g. to increase voltage and current ratings of SiC devices, to GaN devices including their integration, the respective packaging technology and of course to the applications. Some main topics of this year's ECPE wide bandgap user forum are summarised in the following:

State of the Art and Trends Several international research programmes and centres have been introduced, contributing to the progress in SiC and GaN devices and systems making use of those. SiC devices have been found to be beneficial for applications in transportation — in particular automobiles with electric drives, and on a higher power level railway — as they permit to increase efficiency and power density. SiC transistors and diodes may serve in traction converters or power supplies there. Photovoltaic inverters constitute another important application. Besides, also special applications have been addressed, e. g. high frequency induction heating — remarkably with resonant switching — or converters in the medium voltage grid as currently investigated as a future option.

GaN transistors will mainly be rated up to 650 V and used up to voltage levels as supplied by the 230 V single phase grid, e. g. for hard switching power factor correction and similar power supply applications. Obviously the usage of wide bandgap devices requires more than just replacing silicon devices; instead only an appropriate circuit and system design will allow to fully exploit the wide bandgap devices' potential. This e. g. concerns aspects like the cooling concept, partially permitting to replace fluid by air cooling, or the isolation within the converter and beyond, e. g. in an electrical machine, taking into account the applied voltages and their high change rates. Obviously the passives shall be chosen appropriately as well which in most cases seems possible but will not always rely on standard components. Careful parallel connection of relatively small wide bandgap devices may be required to achieve a high current capability.

With regard to SiC, devices and the related packaging technology have been addressed where advanced modules and embedding play an increasing role. Drivers dedicated to the transistors are sufficiently fast and make sure good electromagnetic compatibility taking into account the fast switching slopes and the need to maintain controllability. The devices have reached a high degree of maturity, providing good ruggedness e. g. under surge current or avalanche conditions. Their reliability e. g. with respect to gate oxide stability, humidity and load cycles has been qualified; it should however be noted that the applicable test methods partially differ from what has been established for silicon devices and that the respective device modelling to understand failure mechanisms still is subject to research. With respect to GaN research activities aiming at an optimisation of material and the several types of transistors have been reported. Integration on chip level has been presented as well as hybrid integration and various packaging technologies, ranging from pre-packages e. g. for embedding via chip-scale packages up to more conventional solutions with minimised parasitics. Besides the aspects already mentioned with respect to SiC

³²by Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, chairman together with Dr. Peter Friedrichs (Infineon Technologies) and Prof. Leo Lorenz (ECPE)

drivers, GaN drivers need to comply with the different driving conditions or voltages respectively of the devices, maintaining a standard interface towards the control unit. Major progress has been reported considering parasitic effects like dynamic on-state resistance and current collapse, further also considering breakdown towards the silicon substrate in integrated lateral GaN devices.

Conclusion and Outlook The findings as briefly summarised above illustrate the fast development of wide bandgap power semiconductors. This is beneficial for power electronics as a key technology in various areas, such as energy efficiency, usage of renewable sources for electric energy supply, electromobility or also automation. Both, SiC and GaN devices are available and in particular SiC devices are well qualified and widely applied in commercial products. Nevertheless, research, development and also standardisation are ongoing to further explore the possibilities of wide bandgap devices in power electronics. The European Center for Power Electronics (ECPE) is a stakeholder in this area, bringing together industrial partners and research institutions. After the major interest of more than 300 participants in this year, ECPE will announce the next SiC & GaN User Forum in conjunction with its annual event in spring 2021, where the progress achieved since today will be reported.

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 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

Dresdener Kreis 2019³³

Vom 27. bis zum 28. März fand der 20. jährliche *Dresdner Kreis* in Hannover statt. Die Veranstaltung dient zum Austausch mit anderen Universitäten und um Anregungen zum eigenen Forschungsfeld zu erhalten. Am *Dresdner Kreis* sind neben dem LENA noch Lehrstühle der Universitäten aus Duisburg, Dresden und Hannover vertreten.

Nach einer ersten Stärkung begannen die Vorträge. Jede Einrichtung stellte zwei Redner, die vor den mitgereisten 30 TeilnehmerInnen präsentiert haben. Unter den Vortragenden der ersten Session befand sich M. Sc. Nicola Köneke, die mit dem Vortrag „Entwicklung von Systemführungskonzepten im Technikmaßstab“ ihre Tätigkeit an der Leitwarte der OVGU vorstellte. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Aufbau der Kommunikation über das etablierte Protokoll *IEC 60870-5-104* zwischen MATLAB und der Leitwarte. Mit einem ausgiebigen Ausblick über weitere Vorhaben mit dem System beendete Frau Köneke Ihren Vortrag.

In der zweiten Session vertrat Sebastian Helm das LENA. Mit dem Vortrag „Potentialanalyse von BEV zur Umsetzung von V2G-Anwendungen“ gab er einen Ausblick über Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen zur Stabilisierung des elektrischen Netzes. Dabei wurde ein Simulationsmodell eines Elektrofahrzeuges vorgestellt und die zur Verfügung stehende Leistung in der 50-Hertz-Regelzone aufgezeigt.

Die Abendveranstaltung beinhaltete ein reichhaltiges italienisches Essen, um die Reserven für den Heimreisetag zu füllen. Vor der Rückfahrt nahm die Gruppe des *Dresdner Kreises* an einer Exkursion zum VW-Werk Hannover teil. Neben der Leitwarte sowie der Gas- und Wasserversorgung hat VW einen ausgiebigen Einblick in die Produktionslinien der Modelle der *T-Baureihe* und des Pickups *Amarok* gegeben. Besonders die Produktion des *VW California* wurde von den Interessierten verfolgt. Die Linie konnte von ersten Blechen bis hin zum fertigen Camper verfolgt werden. Täglich gehen 1000 Fahrzeuge nach den individuellen Wünschen der Käufer vom Band. Die eindrucksvolle Produktionslinie war ein hervorragender Abschluss der Bildungsreise (siehe Abbildung 3.43). Der Lehrstuhl LENA bedankt sich recht herzlich für das tolle und äußerst interessante 20. Jubiläum des *Dresdner Kreises*.

³³von M. Sc. Nicola Köneke



Abbildung 3.43: Besuchergruppe des VW-Werks beim *Dresdener Kreis 2019*

ETG-Kongress 2019³⁴

Vom 08.05. bis 09.05 trafen sich Vertreter aus Industrie und Wissenschaft auf dem *ETG-Kongress* in Esslingen bei Stuttgart um sich zu den neusten Entwicklungen, Forschungsprojekten und Herausforderungen in der Energiewende auszutauschen. In den Themengebieten Sektorenkopplung, Elektromobilität, Digitalisierung und Projekte und Anwendungen gab es eine Vielzahl an Vorträgen und regen Diskussionen. Der Lehrstuhl war mit einem Vortrag zum Projekt *SmartMES* durch M. Sc. Jonte Dancker vertreten.

Neben den vielseitigen Präsentationen stellten sich Unternehmen mit ihren aktuellen Projekten vor und zeigten auf welche Themen Netzbetreiber alle Spannungsebenen beschäftigen und mit welchen Ideen diese die Herausforderungen der Energiewende angehen.

Abseits der Kongress bot die Besichtigung der Netzleitwarte der Netze BW die Möglichkeit den Netzbetrieb sich anzusehen und ins Gespräch mit Mitarbeitern zu kommen.

Viertes ILMA-Treffen in Magdeburg³⁵

Am 27. und 28. Mai fand das vierte Treffen der Universitäten und Fraunhofer-Institute Ilmenau und Magdeburg an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg statt. Die Ausrichter des Lehrstuhls für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie begrüßten die Gäste Montagabend und grillten gemeinsam mit ihnen auf dem Campus. Das gesellige Highlight der Konferenz war die Stadtführung mit vielen Legendenerzählungen in der Dämmerung Magdeburgs.

Dienstag begann der wissenschaftliche Austausch in der Lukasklause Magdeburg mit einem Vortrag von Marc Gebhardt über das Thema „Lastflusszerlegungsmethoden in vermaschten AC-Netzen“. Nach weiteren Vorträgen der anderen Hochschulen folgte noch der Vortrag von

³⁴ von M. Sc. Jonte Dancker

³⁵ von M. Sc. Marc Gebhardt

Iryna Chychykina mit dem Thema „Vergleich von Redispatch-Optimierungs-Strategien“. Allen Vorträgen schloss sich eine interessante Diskussion an. Die Vorträge der anderen Institutionen waren:

- E. Bach (TU Ilmenau, „Untersuchung neuer betrieblicher Freiheitsgrade durch Gleichstrom-Kopplungen zwischen 110-kV-Netzgruppen“)
- P. Lombardi (IFF Magdeburg, „Planung einer Net-Zero-Energy-Factory: die Arte-Möbel-Fallstudie“)
- H. Sommer (AST Ilmenau, „Hybrid-Modell für den deutschen Strommarkt“)
- X. Song (TU Ilmenau, „Realisierung von Umrichtermodellen und deren Validierung auf dynamisches Verhalten“)
- S. Balischewski (OVGU Magdeburg, „Multifunktionaler Einsatz von Batteriespeichern in elektrische Verteilnetzen“)

Nach Ende der Vorträge endete auch das ILMA-Treffen in Magdeburg. Besonderer Dank geht für die gesamte Organisation an Eric Glende.

CIREN 2019³⁶

Die *CIREN* ist ein Forum in dem sich die Community der Elektrizitätsverteilung alle zwei Jahre trifft, um sich zu den neusten Entwicklungen, Forschungsprojekten und Herausforderungen der Verteilnetze auszutauschen. Dieses Jahr fand sie im Zeitraum vom 3. bis zum 6. Juni in Madrid statt. Der Lehrstuhl war mit einem Poster zum Projekt *SmartMES* durch Frau Nicola Könneke vertreten (siehe Abbildung 3.44). Neben den vielseitigen Präsentationen, ausführlichen Poster Sessions und den Diskussionen an den Round Tables, stellten 120 Unternehmen ihre aktuellen Projekte vor.

Abseits des Kongresses konnte das Bildungszentrum in San Agustin de Guadalix oder die *LCOE* (*Laboratorio Central oficial de Electrotecnia*) besucht werden. Im Bildungszentrum konnten unter anderem eine Schulungseinrichtung für Umspannwerke sowie eine Trainingseinrichtung für Smart Grids besichtigt werden. Die *LCOE* öffnete die Türen zu Ihren Hochspannungslaboren.

PowerTech 2019³⁷

Die PowerTech ist die Hauptkonferenz der *IEEE Power & Energy Society (PES)* in Europa und bietet ein Forum des Austauschs für Wissenschaftler und Ingenieure der elektrischen Energietechnik und erneuerbaren Energie. Industrie und akademische Welt kommen hier zusammen, um ihre Zusammenarbeit zu stärken und Innovationen in der Energiewelt voranzutreiben. Die Konferenz wurde vom *IEEE*, der *PES* und der *Politecnico di Milano* organisiert und gesponsert und fand vom 23. bis 27. Juni 2019 auf dem Bovisa-Campus letzterer in Italien statt.

Der Lehrstuhl für elektrische Netze und erneuerbare Energie (LENA) wurde durch Herrn Yonggang Zhang mit seinem Vortrag „Harmonic Resonance Analysis for DFIG-based Offshore Wind Farm with VSC-HVDC Connection“ vertreten. Das Paper beschäftigt sich mit einer Impedanz-basierten Resonanz-Modalanalyse für einen per HVDC verbundenen DFIG-basierten Offshore-Windpark. Potentielle Resonanzen eines solchen Systems werden analysiert und die Beiträge relevanter Netzknoten zu den Hauptresonanzen aufgeschlüsselt.

³⁶ von M. Sc. Nicola Könneke

³⁷ von M. Sc. Martin Fritsch

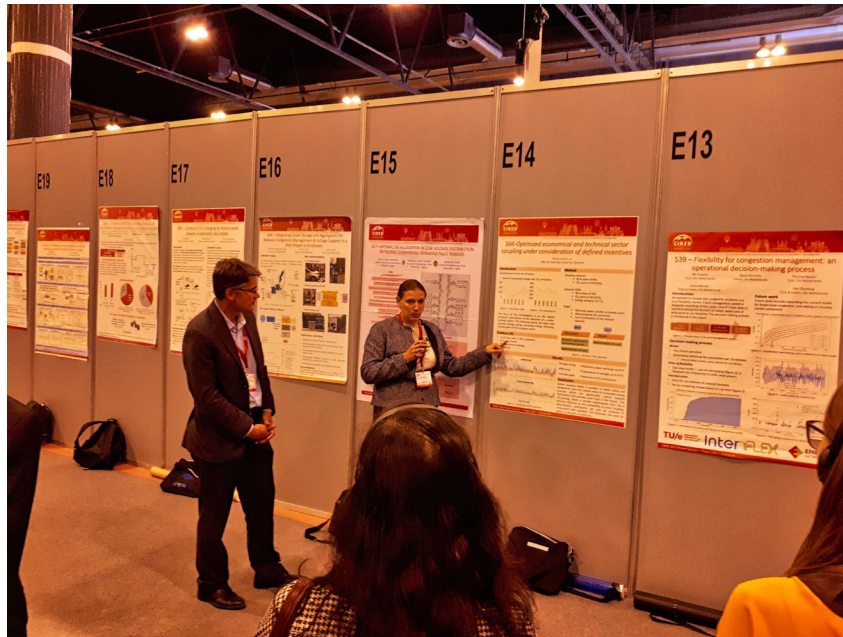


Abbildung 3.44: M. Sc. Nicola Könneke auf der *CIRED 2019*

Power and Energy Student Summit³⁸

Vom 9. bis 11. Juli fand in der Lukasklausur in Magdeburg die 20. Power and Energy Student Summit (PESS) statt. Mehr als 50 Teilnehmer nahmen am wissenschaftlichen Austausch an der Elbe teil. Zahlreiche junge Ingenieure und Ingenieurinnen stellten in Präsentationen Ihrer wissenschaftlichen Arbeiten kürzlich gewonnene Erkenntnisse dem Fachpublikum vor. Neben Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, der die Konferenz geleitet hat, nahmen Prof. Dr.-Ing. Maik Koch (HS Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Martin Könemund (Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel) sowie Prof. Dr.-Ing. Peter Zacharias als Gäste an der Konferenz teil. In mehreren Sessions stellten die TeilnehmerInnen ein breites Spektrum der Energietechnik vor, sodass die Konferenz neue Anreize für folgende Untersuchungen geben konnte, was auch in den Diskussionsrunden erkennbar wurde.

Die besten Teilnehmer wurden mit den drei folgenden Preisen geehrt:

- Best Paper Award: Friederike Thomas (TU Dresden, „Robust and Optimized Voltage Droop Control considering the Voltage Error“)
- Best Poster Award: Raphael Houben (RWTH Aachen, „Integrated Optimization of Large Scale Power and Gas Flow Problems“)
- Best Presentation Award: Jan Wiesner (TU Chemnitz, „Life-Cycle Analysis of the Climate Impact of Present High-Voltage Direct Current Transmission Systems“)

Neben den Vortragssessions und Posterpräsentationen lernten die Teilnehmer auch zwei Labore am LENA kennen und hatten somit einen Einblick in die aktuelle Forschungsarbeit des Lehrstuhls. Abgerundet wurde das Programm durch eine Exkursion ins Wolmirstedter Umspannwerk (siehe Abbildung 3.45) und eine Stadtführung bei Nacht durch Magdeburg.

Besonderer Dank gilt ebenso den Sponsoren der Konferenz, durch deren Beteiligung diese überhaupt erst möglich wurde und dem kompletten Organisationsteam der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.

³⁸ von M. Sc. Sebastian Helm



Abbildung 3.45: Besuchergruppe der Konferenz im Wolmirstedter Umspannwerk

ISGT Latin America 2019³⁹

Vom 15. bis 18. September fand die *IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Latin America 2019 (ISGT LA)* in Gramado, Brasilien statt. Die *ISGT LA* ist Teil einer Reihe an Konferenzen weltweit der *IEEE Power & Energy Society (PES)*. Der Fokus der diesjährigen Konferenz lag auf den Herausforderungen und Chancen von Smart Grids und Microgrid in Lateinamerika. Hierbei wurden Themen aus den Bereichen Betrieb und Auslegung von Smart Grids, Informations- und Kommunikationstechnologie und künstliche Intelligenz vorgetragen.

Der Lehrstuhl war durch Prof. Wolter und M. Sc. Jonte Dancker vertreten. Prof. Wolter sprach im Rahmen einer Diskussionsrunde zum Thema Netzbetriebs und der Netzplanung und gab hier einen Überblick über das europäische Stromnetz und dessen Herausforderungen. M. Sc. Jonte Dancker präsentierte eine Analyse eines integrierten Energiesystems aus dem Projekt SmartMES mit dem Thema „Optimal design and operation of a CHP based district heating system including a heat storage and electrode boiler to increase self-consumption“.

Die Konferenz bot einen guten Überblick über Themen, die Universitäten und Unternehmen in Lateinamerika beschäftigen. Darüber hinaus bot die Abendveranstaltung eine gute Gelegenheit für einen Austausch.

IEEE ISGT Europe 2019⁴⁰

Die *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies-Konferenz in Europa (ISGT-Europe)* fand in diesem Jahr vom 29. September bis 2. Oktober in Bukarest in Rumänien statt. Die *ISGT-Europe* ist eine von zwei Flugschiffkonferenzen des *IEEE* in Europa und genießt eine hohe Reputation. Der Schwerpunkt liegt auf Industrie- und Fertigungstheorien sowie Anwendungen für den breiten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien und die Integration erneuerbarer

³⁹ von M. Sc. Jonte Dancker

⁴⁰ von M. Sc. Martin Fritsch

und verteilter Energien in das Stromnetz. Das diesjährige Motto lautete „New Businesses for Energy Transition“.

Der Lehrstuhl LENA wurde durch M. Sc. Yonggang Zhangs Vortrag mit dem Titel „Harmonic Filtering in DFIG-based Offshore Wind Farm through Resonance Damping“ vertreten. In diesem Paper wurde eine Resonanz-Modalanalyse eines großen Offshore-Windparks durchgeführt. Ebenso wurde ein aktiver Mittelspannungsdämpfer entwickelt, um die erkannten Resonanzen zu vermindern.

17. Magdeburger EMV-Industrieseminar am 05.11.2019⁴¹

Am Dienstag, den 05. November lud der Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) bereits zum 17. Mal zum jährlichen EMV-Industrieseminar in die Experimentelle Fabrik (ExFa) und das Fraunhofer IFF ein. Die Veranstaltung richtet sich an Entwickler und Konstrukteure in KMUs und Industrieunternehmen, die in ihrer täglichen Arbeit mit EMV-Fragestellungen, also der gegenseitigen Wechselwirkung elektrischer und elektronischer Systeme und Baugruppen über Felder und Leitungen, zu tun haben. Die eintägige Veranstaltung besteht aus Vorträgen und Workshops sowie einer kleinen Messe, bei der in diesem Jahr 20 Aussteller vertreten waren (siehe Abbildung 3.46).

In den Vorträgen ging es von eher theoretischen Fragestellungen wie der ganzheitlichen Optimierung energieeffizienter Antriebslösungen für Elektrofahrzeuge bis zu sehr praktischen Erklärungen über EMV-Risiken in Steuerungs- und Schaltanlagen oder das Filter-Design auf Leiterplatten. In vier Kleingruppen-Workshops wurden auch praktische entwicklungsbegleitende Messungen an Baugruppen durchgeführt oder die Möglichkeiten des neuen Power-Quality-Labors in der ExFa ausprobiert.

Das zentrale Motto der Veranstaltung war die Zukunft der praktischen Umsetzung der EMV, die durch Themen wie Industrie 4.0, das Internet der Dinge, den 5G-Mobilfunk, drahtlose Ladeverfahren oder die Elektromobilität viele interessante und sehr praxisrelevante Fragestellungen und Herausforderungen bereithält. Insgesamt nahmen über 160 Personen am EMV-Industrieseminar teil, um ihr EMV-Wissen auf den neuesten Stand zu bringen, Erfahrungen mit der Fachgemeinschaft auszutauschen und neue Impulse für die tägliche Entwicklungsarbeit zu erhalten.

⁴¹ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 3.46: Firmenmesse beim 17. Magdeburger EMV-Industrieseminar