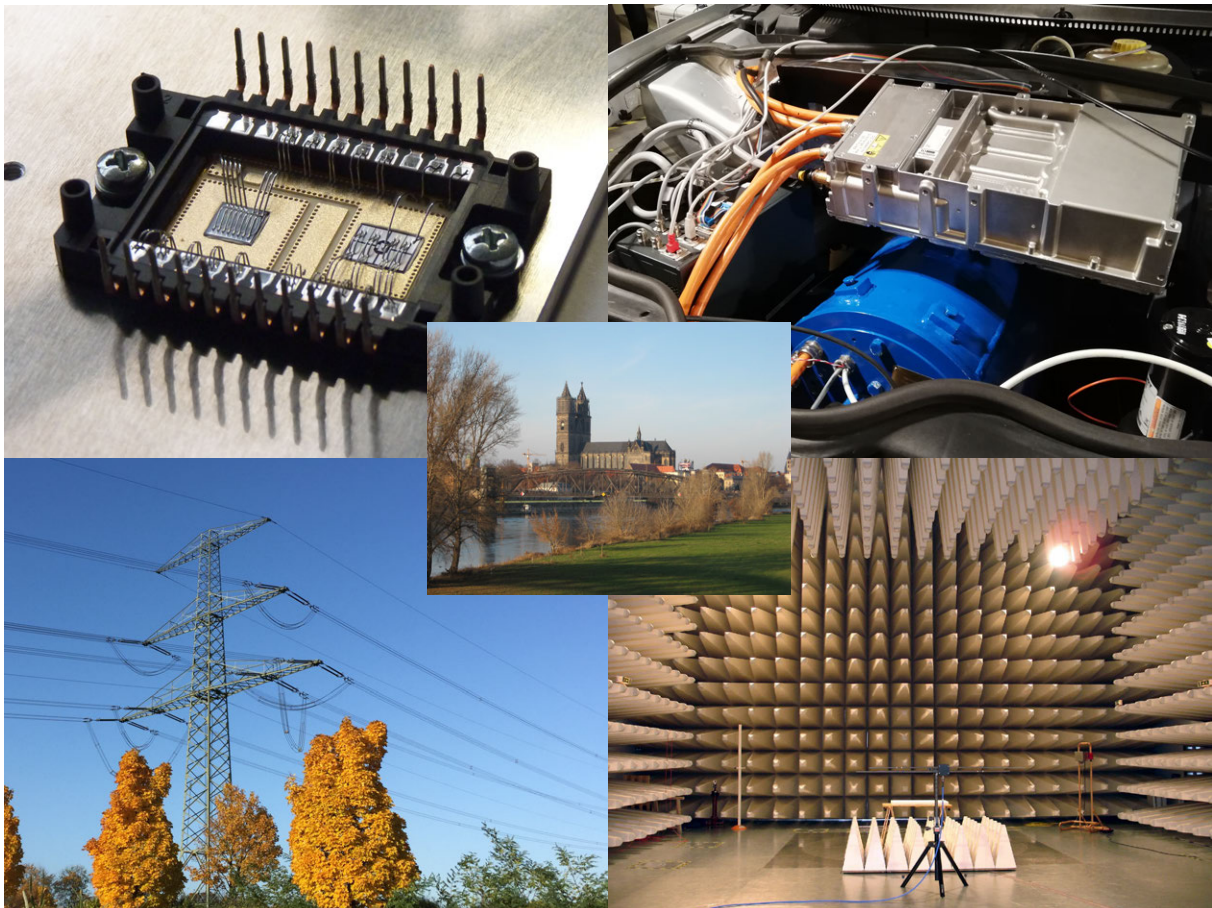


Jahresbericht 2022

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/Lehrstuhle/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,

nachdem die Pandemie nun gefühlt einigermaßen überstanden ist, haben uns mit dem Angriff Russlands auf die Ukraine und der folgenden Energiekrise die nächsten Herausforderungen erreicht, von denen wir und unsere Kooperationspartner in Kyjiw, Charkiw, Donezk und Kasan direkt betroffen sind. Wir wollen Ihnen daher auch in diesem Jahr wieder unseren Jahresbericht überreichen, mit dem wir in gewohnter Weise über die neuesten Entwicklungen, Lehrveranstaltungen und Forschungsaktivitäten an den Lehrstühlen für „Elektrische Antriebssysteme“, „Elektrische Netze und Erneuerbare Energie“, „Leistungselektronik“ und „Elektromagnetische Verträglichkeit“ informieren.

Besonders stolz sind wir auf die Einrichtung des DSG2-Programms, mit dem es gelungen ist, in Kooperation mit der NTU Charkiw eine Möglichkeit zu schaffen, geflüchteten ukrainischen Schulabsolventen einen reibungslosen Übergang in das deutsche Hochschulsystem zu ermöglichen. Darüber hinaus bieten wir in der Lehre weiterhin fakultätsübergreifend über 40 Lehrveranstaltungen an, die wieder in Präsenz stattfinden können. Die im Jahr 2022 betreuten 17 studentischen Forschungsprojekte, 11 Bachelorarbeiten und 32 Masterarbeiten zeigen, dass die Energieforschung auch weiterhin ein spannendes und nachgefragtes Themenfeld bietet.

2022 konnten bisher sieben Dissertationen erfolgreich abgeschlossen werden. Niklas Förster promovierte am Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, Moustafa Raya und Benjamin Willmann am Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit sowie Mahmood Gholizadeh, Jonte Dancker und Muhammad Tayyab am Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie. Florian Pribahnik promovierte am Lehrstuhl für Leistungselektronik. André Richter und Tahaguas Woldu werden noch kurz vor Weihnachten ihre Dissertationen am Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie verteidigen.

Auch in diesem Jahr haben wir in zahlreichen Forschungsprojekten Antworten auf die vielfältigen, drängenden Fragen der Energietechnik finden können. Während einige großen Forschungsprojekte wie z. B. ILEP oder RE-FLEX erfolgreich beendet werden konnten, sind andere große Verbundprojekte wie z. B. PROGRESS gestartet. Erfreulicherweise hat auch der wissenschaftliche Austausch auf Tagungen und Konferenzen im Jahr 2022 wieder an Fahrt aufgenommen.

Zu guter Letzt möchte ich unserer langjährigen Kollegin und Mitarbeiterin Ines Hauer meine Glückwünsche zu ihrem Ruf an die TU Clausthal ausdrücken, an der sie seit 01.09. die Professur für Elektrische Energiespeichertechnik innehat.

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, dem DAAD, der DFG und allen Unternehmen, 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 besinnliche Weihnachtstage, Gesundheit sowie ein erfolgreiches Jahr 2023.

Magdeburg, im Dezember 2022

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	1
1.1.6	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	1
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	Gastwissenschaftler 2022	2
1.2.5	Externe Promovenden	3
1.2.6	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	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
1.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	3
1.4.1	Hochschullehrer	3
1.4.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten	4
1.4.3	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	4
1.5	Institutsebene	4
1.5.1	Technik	4
1.5.2	Verwaltung	4
2	Studium und Lehre	5
2.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	5
2.1.1	Lehrveranstaltungen	5
2.1.2	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	5
2.1.3	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	8
2.1.4	Abgeschlossene Forschungsprojekte	11
2.1.5	Abgeschlossene Bachelorarbeiten	11
2.1.6	Abgeschlossene Masterarbeiten	12
2.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	13
2.2.1	Lehrveranstaltungen	13
2.2.2	Abgeschlossene Arbeiten	18
2.2.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	18
2.2.4	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	18
2.2.5	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	19
2.2.6	Praktikantenbetreuung	20
2.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	21
2.3.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	21
2.3.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	24

2.3.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	27
2.3.4	Abgeschlossene Masterarbeiten	27
2.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	28
2.4.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	28
2.4.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	30
2.4.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	33
2.4.4	Abgeschlossene Bachelorarbeiten	33
2.4.5	Abgeschlossene Masterarbeiten	33
2.5	Institutsebene	34
2.5.1	Internationale Hochschulkooperationen	34
2.5.2	Aktivitäten in Verbänden	37
2.5.3	Exkursionen	40
2.5.4	Studienwerbung	41
2.5.5	Preise	50
3	Forschung	51
3.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	51
3.1.1	Forschungsprofil	51
3.1.2	Forschungsprojekte	53
3.1.3	Promotionen	58
3.1.4	Veröffentlichungen	60
3.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	61
3.2.1	Forschungsprofil	61
3.2.2	Forschungsprojekte	61
3.2.3	Promotionen	72
3.2.4	Veröffentlichungen	78
3.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	79
3.3.1	Forschungsprofil	79
3.3.2	Forschungsprojekte	80
3.3.3	Promotionen	87
3.3.4	Veröffentlichungen	90
3.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	96
3.4.1	Forschungsprofil	96
3.4.2	Forschungsprojekte	96
3.4.3	Promotionen	101
3.4.4	Veröffentlichungen	103
3.5	Institutsebene	104
3.5.1	Technische Gremien und Verbände	104
3.5.2	Kolloquien	105

1 Personalia

1.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

1.1.1 Hochschullehrer

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

1.1.2 Lehrbeauftragte

1.1.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten

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

1.1.4 Gastwissenschaftler

- Danylo Kaluhin, Erasmus (PhD), Universität Kiew

1.1.5 Externe Promovenden

- Henning S. Vogt, Volkswagen AG, Konzernforschung
- Johannes M. Schäfer, Volkswagen AG, Konzernforschung
- Benjamin Horn, SMELA GmbH
- Sebastian Benecke, SMELA GmbH
- Sebastian Hieke

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 (bis 31.08.2022)
(Juniorprofessorin für Elektrische Energiespeichersysteme)

1.2.2 Lehrbeauftragte

- Prof. dr. hab. inż. Dr.-Ing. E. h. Waldemar Rebizant, TU Wrocław, Polen: Digitale Schutztechnik

1.2.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dr.-Ing. Jonte Dancker (bis 30.06.2022)
- M. Sc. Martin Fritsch
- M. Sc. Marc Gebhardt
- M. Sc. Eric Glende
- M. Sc. Sebastian Helm (bis 30.11.2022)
- Dr.-Ing. Maik Heuer (bis 30.06.2022)
- M. Sc. Christian Klabunde
- M. Sc. Nicola Könneke
- M. Sc. Philipp Kühne (bis 31.05.2022)
- M. Sc. Christoph Leugers (bis 31.07.2022)
- Dr.-Ing. Denys Meshkov (seit 01.12.2022)
- M. Sc. André Richter (bis 28.02.2022)
- M. Sc. Christian Rinne
- Dr.-Ing. Muhammad Tayyab (bis 31.01.2022)
- M. Sc. Tahaguas Woldu
- M. Sc. Christian Ziegler

1.2.4 Gastwissenschaftler 2022

- Prof. Mauricio Sperandio, Federal University of Santa Maria (USFM), Brazil
- Prof. Fabio Ecke Bisogno, Federal University of Santa Maria (USFM), Brazil
- M. Sc. Leonardo Nogueira Fontoura da Silva, Federal University of Santa Maria (USFM), Brazil
- Dr.-Ing. Denys Meshkov, Deutsches Ausbildungszentrum an der NTU „KhPI“, Charkiw, Ukraine
- Hanna Prytychenko, Deutsches Ausbildungszentrum an der NTU „KhPI“, Charkiw, Ukraine

1.2.5 Externe Promovenden

- 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
- M. Sc. Johannes Göbel, TenneT TSO GmbH, Bayreuth

1.2.6 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)

1.3.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- Dr.-Ing. Moawia Al-Hamid
- Dr.-Ing. Mathias Magdowski (Mitglied des Vorstandes des Instituts für Medizintechnik)
- Dr.-Ing. Jörg Petzold
- Dr. rer. nat. Sergey Tkachenko (bis 30.06.2022)
- M. Sc. Thomas Gerlach
- Dr.-Ing. Enrico Pannicke
- Dr.-Ing. Moustafa Raya
- M. Sc. Benjamin Hoepfner
- M. Sc. Felix Middelstädt (bis 31.10.2022)
- M. Sc. Max Rosenthal

1.3.3 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/Stipendiaten

- M. Sc. Anton Chupryn
- Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
- M. Sc. Carsten Kempiak
- M. Sc. Kevin Ladentin
- M. Sc. Tianyu Li
- M. Sc. Wenwen Yang

1.4.3 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Melanie Baumgarten (Sekretärin)

1.5 Institutsebene

1.5.1 Technik

- Marcus Glaunsinger (IT-Administration)
- Dipl.-Ing. Katharina Mecke (Werkstofflabor und Videotechnik, LSF-Beauftragte sowie Familienbeauftragte der FEIT)
- Jens-Uwe Schulz (Bereichsleiter Mechanik)
- Helge Müller (Werkstatt)
- Dominic Lücke (seit 01.02.2022)
- Fabian Wächter (Auszubildender seit 01.08.2022)

1.5.2 Verwaltung

- Julia Reinecke (Ökonomie, Buchhaltung am Institut für elektrische Energiesysteme)
- 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 Lehrveranstaltungen

2.1.2 Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge

Allgemeine Elektrotechnik 2

— Electrical Engineering and Electronics —

SS V 2 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
P 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Ü 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Ü 1 SWS: M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh

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 - Fahrantriebe

— 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

E-Fahrzeugantriebe, Teil 1 und 2

— E-Power Engines —

SS/WS V 4 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
P 1 SWS: Dipl.-Ing. Andreas Bannack

Dieses Modul soll die Studierenden in die Lage versetzen, 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 im stationären Zustand, zur Analyse des Betriebsverhaltens und zur Berechnung grundlegender Einsatzfälle anzuwenden. Sie können einschlägige Maßnahmen zur Wirkungsgradverbesserung der elektrischen Maschinen ergreifen. Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, das elektrische Antriebssystem grundlegend zu berechnen. Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden, die stationären und dynamischen Modelle der einzelnen Bestandteile eines Antriebssystems, sowie dessen Wechselwirkung nachvollziehen. Nach erfolgreicher Absolvierung des Moduls können die Studierenden E-Antriebe für Transportsysteme, z. B. E-Fahrräder, E-Scooter, E-Automobile, Bahnen und vieles mehr, auslegen.

- Magnetkreise, Übertrager
- Gleichstrommaschine
- Asynchronmaschine
- Synchronmaschine
- Wirkungsgrad
- Auswahl elektrischer Maschinen Aufgaben, Funktionsgruppen und Struktur eines elektrischen Fahrzeugantriebs
- Kenngrößen von Bewegungsvorgängen und Arbeitsmaschinen, Mechanik des Antriebssystems, typische Widerstandsmomenten-Kennlinien von Arbeitsmaschinen, 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 Antrieben
- Strukturen geregelter elektrischer Fahrzeugantriebe

Elektrische Maschinen

— Electrical Machines —

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

2.1.3 Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Regelung von Drehstrommaschinen

— Control of AC Machines —

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

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

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

Elektrische Fahrtriebe

— Electric Traction Drives —

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

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

Unkonventionelle elektrische Maschinen

— Unconventional Electrical Machines —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
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: Dr.-Ing. Andreas Gerlach

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)

Systembetrachtung intelligenter Elektrofahrzeuge (Seminar)

— Systembetrachtung intelligenter Elektrofahrzeuge —

SS S 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
S 3 SWS: Prof.-Dr.-Ing. Andreas Lindemann
S 3 SWS N.N.

Elektrofahrzeuge und autonom fahrende Fahrzeuge bestehen aus einer Vielzahl an Einzelsystemen, vom Energiespeicher, dem Antriebssystem, den Energiewandlern, bis hin zu Steuergeräten für vernetzte Planung, Umfelderkennung und Regelung. Der Entwurf, die Auslegung, Analyse und Optimierung des Gesamtsystems erfordert eine systemische Sicht auf alle Teilsysteme, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb von intelligenten Elektrofahrzeugen zu ermöglichen. Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilsystemen in Elektrofahrzeugen in der Systemebene nachzuvollziehen, insbesondere die Energieflüsse zwischen den einzelnen Komponenten wie den Energiewandlern und dem Speicher. Sie werden befähigt, die Grundlagen der einzelnen Teilkomponenten zu verstehen, deren dynamisches und statisches Verhalten zu modellieren und zu analysieren sowie Ansätze zur optimalen Regelung und Systemauslegung zu erarbeiten. Sie können anwendungsspezifische Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Komponenten bewerten.

- Ansatz der Systembetrachtung von intelligenten Elektrofahrzeugen
- Grundlagen sowie Methoden zur Modellierung und Analyse des Gesamtfahrzeuges und der Teilkomponenten, insbesondere der
- Energiespeicher

- leistungselektronischen Energiewandler
- elektrischen Maschinen
- Steuergeräte und Regelungssysteme
- optimale Dimensionierung
- optimale Regelung und Planung

Mikrocontroller-basierte Antriebsregelungen (Seminar)

— Microcontroller-Based Drive Control —

WS S 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dr.-Ing. Andreas Gerlach

Lernziele und erworbene Kompetenzen:

Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, grundlegende Regelungsverfahren für elektrische Antriebssysteme in Mikrocontroller umzusetzen. Sie können die Methoden der Taskverwaltung und Kommunikation für Echtzeitanwendungen nachvollziehen. Sie sind befähigt die Regelungsglieder zu diskretisieren und implementieren, sowie mit den Problemen der Umsetzung mit Festkommazahlen umzugehen.

- Architektur der Mikrocontroller und digitale Signalprozessoren (DSP) Wichtigste Schnittstellen für Antriebsregelung (ADC, PWM, Encoder-Einheit)
- Echtzeit-Taskverwaltung und Interrupts
- Synchronisierung zwischen Prozessorkern, Pulsbreiten-Modulator (PWM) und Analog-digital-Umsetzer (ADC)
- Echtzeit-Kommunikation (z. B. Controller Area Network) in Programmierumgebungen
- Debugging in Echtzeitanwendungen
- Diskretisierung und Festkommazahlen
- PWM-Steuerung und Stromregelung für umrichter gespeiste Maschinen

2.1.4 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Rezvan Thamasebi: Realisierung einer Stromregelung mit Mikrocontroller
2. Christoph Dolg: Automatische Codegenerierung zur mikrocontrollerbasierten Regelung elektrischer Maschinen mit MATLAB-Simulink

2.1.5 Abgeschlossene Bachelorarbeiten

1. Kevin Koehn: Auslegung von Induktivitäten für die Parallelschaltung von IGBTs
2. Oleksii Sasin: Implementing of a CAN-Open-Based Control Concept for a Splitted Two-Phase Transverse Flux Generator

2.1.6 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Ali Raza Shoukat: Prototyping and Programming of a Four-Wheel-Vehicle Based on Mecanum Wheels
2. Fabian Schimke: Auslegung und Simulation eines Energiespeichersystems für einen Freikolbenmotor
3. Sarmad Naveed: Development of a Sensor Concept for Mecanum-Based Vehicles

2.2 Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

2.2.1 Lehrveranstaltungen

Elektrische Energieversorgung

— Electric Power Supply—

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. Marc Gebhardt
M. Sc. Eric Glende
M. Sc. Christian Klabunde
P 1 SWS: M. Sc. Marc Gebhardt
M. Sc. Christian Klabunde

- 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. Eric Glende

- 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: M. Sc. Eric Glende

- 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. Eric Glende

- 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: M. Sc. Marc Gebhardt
M. Sc. Eric Glende

- 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: M. Sc. Eric Glende

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

- 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. Eric Glende

- 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: M. Sc. Eric Glende

- 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

Renewable Energy Sources

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

- 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 V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Prof. dr. hab. inž. Dr.-Ing. E. h. 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 Arbeiten

2.2.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Klara Uhlig: Recherche zu bisherigen und zukünftigen Einsatzkonzepten von Netzboostern
2. Urvisha Patel: Wind Turbine Control Algorithm for Maximum Power Point Tracking
3. Leonid Tukhvatullin: Application of STATCOM to Improve Voltage Stability
4. Iuliana Belova: Comparison of Voltage Stability Indices
5. Alsyn Vakhitov: Methods of Optimal Power Flow (OPF)
6. Insaf Ziganshin: State Estimation in Low and Medium Voltage Grids
7. Xenia Franzke: Engpassmanagement im Kontext des Europäischen Binnenmarktes
8. Sina Kirchhof: Entwicklung und Umsetzung einer Methode für den optimalen Einsatz von Batteriezelltechnologie für Netzdienstleistungen
9. Matthias Behn: Analyse von Optimierungspotenzialen für alkalische und polymerbasierte Elektrolyseure
10. Elisa Sergioli: Analyse von Optimierungspotenzialen für alkalische und polymerbasierte Elektrolyseure

2.2.4 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Christoph Andres: Messtechnische Ermittlung der Permittivität der schwach leitenden Schichten eines Energiekabels
2. Georg Schmidgal: Optimierung von Erneuerbare-Energie-Anlagen unter Berücksichtigung von regulatorischen Rahmenbedingungen
3. Normen Lüttge: Vereinfachung der Leistungsgleichung durch Hauptachsentransformation
4. Muhammad Saad: Current Limiting Effects on Grid-Stabilizing Properties of Grid-Forming Controllers
5. Ali Kharnoub: Implementierung eines „Continuation Power Flow“-Algorithmus
6. Franz Schröter: Integration eines Marktes für Momentanreserve als Teil des deutschen Regelleistungsmarktes

7. Steven Gebhardt: Stromdichteverteilungsmessung für unitäre, reversible Brennstoffzellen
8. Danielle Ingrid Nodom Notouom: Momentanreserve im europäischen Verbundsystem

2.2.5 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Pierre Bolz: Entwicklung eines optimierten V2G-Lademanagements für E-Kfz zum Ausgleich von Unsymmetrien in Niederspannungsnetzen
2. Philipp Diesing: Zero Greenhouse Gas Emissions in 2050: Evaluating Cost-Optimized, Net-Zero Emission Pathways With the LUT Energy System Transition Model for the Power, Heat and Transport Sector of the United Kingdom and Republic of Ireland
3. Irfan Shahzad: Fuzzy System Model for Wind Speed and Wind Energy Prediction
4. Christoph Leugers: Analyse und Abschätzung von Deterministic Frequency Deviations
5. Cersten Klare: Resilienz Betrachtung für elektrische Versorgungsnetze mit hohem Anteil regenerativer Erzeugung – Untersuchung von Gefahren und Entwicklung geeigneter Ansätze für eine Resilienzstrategie zur Stärkung der Versorgungssicherheit
6. Chaman Das: Non-Linear Voltage Dip Control of DFIG-Based Wind Turbines
7. Kai Niebuhr: Analyse und Bewertung eines Energiekonzeptes für Innovationsfabriken
8. Zhargal Namsaraev: Improvement of a Given Method to Estimate Stability Margins
9. Ali Golmohammadi: Modellierung und Evaluierung der Ausdehnung von Brennstoffzellen
10. Shubhajit Biswas: Non-Linear Voltage Dip Control of Decentralized DFIG
11. Linning Xian: Selektive Hydrophobierung zur Optimierung des Wassertransportverhaltens in unitären reversiblen PEM-Brennstoffzellen
12. Markus Bierstedt: Auswirkungen der zweiten Auflage NABEG 2. auf die Energiewirtschaftsprozesse eines Verteilnetzbetreibers
13. Johannes Büsch: Untersuchung, Validierung und Verbesserung einer Erdschlussschutzeinrichtung mittels Wattreststromerhöhung
14. Leonid Tukhvatullin: Modelling and Implementation of STATCOM for Voltage Stability Improvement
15. Magsud Hasanov: Load Forecasting Using Machine Learning for Smart Meter Data Processing
16. Hossein Lavaee: Analyse der Sauerstoffversorgung durch den Einsatz von Elektrolyseuren und Modellierung der Energieversorgung durch Brennstoffzellen zur Strom-, Wärme- und Sauerstoffversorgung
17. Likhitha Thakkalapally: Evaluation of the Efficiency Increase of PV Cells With Two or More Different pn-Junctions

2 Studium und Lehre

- | | |
|----------------------|--|
| 18. Martha Ambach : | Modellierung von Last- und Erzeugungsprofilen zur wirtschaftlichen Beurteilung von reversiblen Brennstoffzellen-BHKWs als mögliche Energieerzeuger und -speicher |
| 19. Hamed Lavaee: | Entwicklung, Parametrierung und Evaluierung verschiedener Inselnetzmodelle am Beispiel des Verteilnetzes der Netze Magdeburg GmbH |
| 20. Phyllis Schacht: | Konzeptionierung und Bewertung des Aufbaus einer Datenbank für geplante Wind- und PV-Projekte in Deutschland |
| 21. Xenia Franzke: | Netzzustandsidentifikation im Nieder- und Mittelspannungsnetz |
| 22. Omobolaji Koyi: | Improvement of a Given Approach to Estimate Stability Margins |

2.2.6 Praktikantenbetreuung

Schülerpraktikum am LENA – Interessante Einblicke in Forschung und Studium¹

Der Lehrstuhl bietet bereits seit vielen Jahren Schülerpraktika für interessierte Schülerinnen und Schüler an, welche einen umfassenden Einblick in die Forschungsarbeiten und Studienmöglichkeiten am LENA und der Otto-von-Guericke-Universität insgesamt vermitteln. Wie können die verstärkt eingesetzten erneuerbaren Energien in das elektrische Netz integriert werden; welche Rolle spielen dabei Energiespeicher und Brennstoffzellen und was genau ist Sektorenkopplung? Nur einige Fragen die im Rahmen der zumeist zweiwöchigen Praktika theoretisch und durch praktische Laborversuche den Schülerinnen und Schülern nähergebracht werden.

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

Weiterhin besteht die Möglichkeit in der Praktikumszeit verschiedene Vorlesungen zu besuchen, den Campus der Universität kennen zu lernen und wichtiges Hintergrundwissen zum Studium zu erlangen. Im aktuellen Jahr fanden zwei Schülerpraktika statt. Die Schüler wurden durch die Praktikumsangebote der Fakultät auf das LENA aufmerksam und lernten die Bereiche Elektrische Energienetze, Elektromobilität und Brennstoffzelle kennen. Im Jahr 2022 besuchten uns vom 24.01. bis 04.02. die Schüler L. Lindner und J. Rademacher vom Magdeburger Hegelgymnasium.

¹M. Sc. Martin Fritsch

2.3 Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit

2.3.1 Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge

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

Die Lehrveranstaltung wird durch eine handschriftliche Übung und durch eine Computerübung ergänzt. In der handschriftlichen Übung werden die Lehrveranstaltungsthemen 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 wurden per Download-Link 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.

Grundlagen der Elektrotechnik I

WS V 3 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Benjamin Hoepfner
Dr.-Ing. Moustafa Raya
M. Sc. Felix Middelstädt
Dipl.-Ing. Max Rosenthal

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: Dr.-Ing. Moustafa Raya
M. Sc. Benjamin Hoepfner
Dr.-Ing. 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.

Grundlagen der Elektrotechnik II

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Ü 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Dipl.-Ing. Max Rosenthal
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Benjamin Hoepfner
Dr.-Ing. 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.

Die Prüfungszulassung zu der Lehrveranstaltung „Grundlagen der Elektrotechnik I und II“ basiert seit einigen Jahren auf einem Konzept von personalisierbaren Aufgabe mit anonymen Peer Review. Dabei bekommen alle Studierenden eine eigene Aufgabe per E-Mail zugeschickt, können diese lösen und ihre Lösung über das Lernmanagementsystem Moodle zur Korrektur einreichen. Um den Korrekturaufwand für die Lehrenden zu senken, begutachten sich die Studierenden dann anhand einer ebenfalls personalisierten Musterlösung gegenseitig. Das ganze Verfahren läuft automatisiert ab und ist dadurch gut skalierbar. Gegenüber einfachen Multiple-Choice- oder Zahlenwert-und-Einheit-Aufgaben lassen sich hier auch der Rechenweg und Ansatz gut bewerten. Auf der Seite <https://bit.ly/PeerReviewAufgaben> sind weitere Informationen dazu in zusammengefasster Form verfügbar.

Grundlagen der Elektrotechnik (Praktikum II)

SS P 3 SWS: Dr.-Ing. Moustafa Raya
Dr.-Ing. 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: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M.Sc. Thomas Gerlach
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

Eigentlich sollen die Studierenden im sogenannten „Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik“ nur das Programmieren in MATLAB lernen. Damit das aber nicht so theoretisch bleibt, bekommen die Studierenden in kleinen Gruppen jeweils eine große Kiste LEGO-Technik-Teile sowie einen programmierbaren Baustein nebst einigen Sensoren und Motoren zur Verfügung gestellt, die sich dann über eine spezielle Bibliothek in MATLAB ansteuern und programmieren lassen. Deshalb wird dieses Projektseminar oft auch nur „LEGO-Praktikum“ genannt.

Anhand einer selbst ausgedachten Projektaufgabe entwickeln, bauen und programmieren die Studierenden dann zwei Wochen lang allein oder in 2er-Gruppen fleißig an kleinen Maschinen und Robotern aus LEGO, die automatisch irgendeine Art von mehr oder weniger sinnvoller Tätigkeit ausführen. Dabei werden dann natürlich nebenbei die nötigen Programmierkompetenzen entwickelt, wichtige Schlüsselkompetenzen im Zeit- und Projektmanagement geschult und das Präsentieren eigener Ideen und Ergebnisse vor einer Gruppe geübt.

In diesem Jahr wurden folgende Ideen entwickelt:

- Farbsortierroboter
- automatische Kartenmischer
- Robotersteuerung für eine Kaffeemaschine
- Raumscanner
- Musik- und Melodieroboter
- Bewässerungsroboter für die Fensterbank (siehe Abbildung 2.1)
- Getränkeautomat
- Lightpainting-Roboter

Pandemie bedingt tüftelten, konstruierten und optimierten die Studierenden ihre Roboter, Automaten und Maschinen in diesem Jahr auch wieder komplett von zu Hause aus. Da die Studierenden sich nicht in der Universität sehen konnten, wie es in vorherigen Jahren üblich war, fanden die gegenseitige Vernetzung und das Zeigen von Zwischenergebnissen in diesem Jahr erneut hauptsächlich über die sozialen Netzwerke statt.

Zur Vernetzung wurde dabei der Hashtag #LEGOPraktikum2022 genutzt.

Instagram: <https://www.instagram.com/explore/tags/legopraktikum2022/>

Twitter: <https://twitter.com/hashtag/LEGOPraktikum2022>

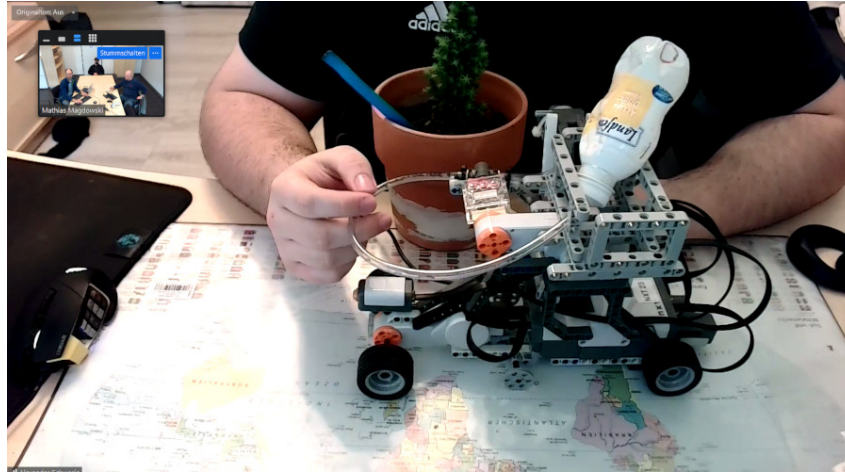


Abbildung 2.1: Bewässerungsroboter für die Fensterbank aus dem Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik

Im Anschluss an den Praxisteil des Seminars verschriftlichen die Studierenden ihre wichtigsten Ergebnisse und Resultate in kurzen Berichten, die dann als Open-Access-Publikation über das Open Journal System der Universitätsbibliothek (<https://journals.ub.ovgu.de/index.php/LEGO>) veröffentlicht werden.

Elektromagnetische Verträglichkeit

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

2.3.2 Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Modern Concepts of EMC und EMC Measurements

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

Modern Concepts of EMC and EMC Measurements (Laboratory Experiments)

WS P 2 SWS: Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Dr.-Ing. Al-Hamid
Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold
M. Sc. Thomas Gerlach

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

Elektromagnetische Verträglichkeit regenerativer elektrischer Systeme

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick
M. Sc. Benjamin Hoepfner
Dr.-Ing. Mathias Magdowski
Ü 1 SWS: M. Sc. Benjamin Hoepfner
Dr.-Ing. Mathias Magdowski

- 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

2 Studium und Lehre

- Modenverwirbelungskammer (MVK) als stochastische EMV-Messumgebung
- Beschreibung des elektromagnetischen Feldes durch den Ansatz ebener Wellen
- Feldverteilung und Korrelationsfunktionen
- Messwertinterpretation

EMV-Messtechnik

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

Inhalte:

- 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

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 synchronen Phase, die in diesem Jahr als Zoom-Videokonferenz stattfand, wurden dann hauptsächlich komplexe Übungsaufgaben bearbeitet sowie weiterführenden Probleme besprochen und diskutiert.

Non-technical Project Seminar

SS Seminar Dr.-Ing. Mathias Magdowski
M. Sc. Thomas Gerlach
Dr.-Ing. Jörg Petzold
Dr.-Ing. 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.

2.3.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Vincent Szameitat: Vermessung und Simulation eines Mikrowellenfeldes für Trocknungsanwendungen
2. Konstantin Bredenfeld: Messtechnische Bestimmung des rückgestreuten elektromagnetischen Feldes resonanter Modelle in einer GTEM-Zelle

2.3.4 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Vincent Szameitat: Einfluss von Leitungsgeometrie und Zwischenkondensatoren auf die Störaussendung eines Elektrofahrzeugs
2. Mishuk Mitra: EM Simulation of Electrodes
3. Fahad Bin Mazhar: Simulation of the Radiated Emissions of Grid Connected Power Converters with EMCoS Studio
4. Hejbul Bahar Sanjib: Measurement and Analysis of Shielding Efficiency for an RFID Gate
5. Zohaib Ahmed Masood: Investigation of Interference Emissions from WPT Systems with Autonomous Positioning
6. Till Nicolas Ebert: Simulation des dynamischen Systemverhaltens eines elektrischen Antriebssystems mit verteiltem Zwischenkreis und Dimensionierung der Zwischenkreiskapazitäten der Antriebsumrichter

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 Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
WS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin M. Sc. Anton Churpryn M. Sc. Carsten Kempiak M. Sc. Kevin Ladentin

- 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 M. Sc. Kevin Ladentin
	Ü 1 SWS:	M. Sc. Kevin Ladentin
	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin M. Sc. Carsten Kempiak M. Sc. Kevin Ladentin M. Sc. Tianyu Li

- Leistungshalbleiter-Bauelemente:
 - MOSFET

- IGBT
- HEMT
- Diode
- Thyristor

unter besonderer Berücksichtigung von

- Funktionsweise
- statischem und dynamischem Verhalten
- Ausführung – Si, SiC, GaN, ...
- Aufbautechnik
- schaltungsgerechter Auslegung
- Ansteuerung, Systemarchitektur

Bauelemente der Elektronik bzw. Fahrzeugelektronik

— Electronic Devices —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
M. Sc. Kevin Ladentin
Ü 1 SWS: M. Sc. Kevin Ladentin

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

Allgemeine Elektrotechnik 1 bzw. Grundlagen der Elektrotechnik für Maschinenbau (Teil 1)

— Electrical Engineering and Electronics 1 —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
S 1 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Kevin Ladentin
Dipl.-Ing. Andreas Bannack
Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
und Kollegen

- Grundbegriffe
- Stromkreise
- Wechselgrößen
- elektrische und magnetische Felder

Veranstaltung für Nicht-Elektrotechniker; Allgemeine Elektrotechnik 2 vgl. auch Abschnitt 2.1.2

2.4.2 Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge

Schaltungen der Leistungselektronik

— Power Electronic Circuits —

SS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
M. Sc. Carsten Kempiake
Ü 1 SWS: M. Sc. Carsten Kempiake

- 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
M. Sc. Carsten Kempiake
Ü 1 SWS: M. Sc. Carsten Kempiake
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

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

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

Systembetrachtung intelligenter Elektrofahrzeuge

— System Aspects of Intelligent Electric Vehicles —

SS S 3 SWS Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin

Elektrofahrzeuge und autonom fahrende Fahrzeuge bestehen aus einer Vielzahl an Einzelsystemen, vom Energiespeicher, dem Antriebssystem, den Energiewandlern, bis hin zu Steuergeräten für vernetzte Planung, Umfelderkennung und Regelung. Der Entwurf, die Auslegung, Analyse und Optimierung des Gesamtsystems erfordert eine systemische Sicht auf alle Teilsysteme, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb von intelligenten Elektrofahrzeugen zu ermöglichen.

Inhalte:

- Ansatz der Systembetrachtung von intelligenten Elektrofahrzeugen
- Grundlagen sowie Methoden zur Modellierung und Analyse des Gesamtfahrzeuges und der Teilkomponenten, insbesondere der
 - Energiespeicher
 - leistungselektronischen Energiewandler
 - elektrischen Maschinen
 - Steuergeräte und Regelungssysteme
- optimale Dimensionierung
- optimale Regelung und Planung

gemeinsam mit den Lehrstühlen für Elektrische Antriebssysteme – vgl. Abschnitt 2.1.2 – und für Systemtheorie und Regelungstechnik

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. 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 power electronic device and circuit simulation with Spice
 - passives
 - * inductive components – inductors, transformers
 - * capacitive components – capacitors
- power electronic systems
 - component stress in selected systems
 - dimensioning
 - reliability

2.4.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Bhavik Kumar Chauhan: MATLAB-Based Synchronous Motor Control
2. Robin Kürbis: Simulatorische Untersuchung des Gate-Strompeaks als TSEP bei GaN HEMTs
3. Fabian Schimke: Entwurf und Inbetriebnahme eines Doppelpulsversuchsstandes für die dynamische Charakterisierung von GaN HEMTs
4. Christian Stanjek: Methoden zur schnellen Schwellenspannungsmessung von SiC-MOSFETs während des Betriebs

2.4.4 Abgeschlossene Bachelorarbeiten

1. Svenja Langer: Untersuchung des Current Collapse und $R_{DS,on}$ von GaN HEMTs mit einem Keysight-B1505A-Kennlinienschreiber

2.4.5 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Wenwen Yang: Evaluating the Junction Temperature in an Embedded GaN Power Section

2.5 Institutsebene

2.5.1 Internationale Hochschulkooperationen

Universidade Federal de Santa Maria²

Besuch der Universidade Federal de Santa Maria im Dezember 2021 zum Aufbau neuer Forschungskontakte in Brasilien Vom 05.12. 2021 bis zum 14.12.2021 besuchte eine Forschungsdelegation des LENA rund um Professor Wolter (siehe Abbildung 2.2) die Universidade Federal de Santa Maria (kurz: UFSM) im südlichen Brasilien. Ziel der DAAD-Reise war der Aufbau und die Stärkung der Wissenschaftsbeziehungen mit Brasilien, die Erarbeitung partnerschaftlich komplementäre Forschungsarbeiten auf hohem Niveau sowie die Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses in internationalem Umfeld.



Abbildung 2.2: OVGU-Delegation beim Besuch der UFSM-E-Ladesäulen gemeinsam mit Wissenschaftler*innen der UFSM

Im Rahmen des Besuchs der UFSM konnte die Delegation der OVGU zahlreiche Versuchsstände besuchen. Die Bandbreite erstreckte sich von neu entwickelten Ladesäulen für Elektrofahrzeuge über eine kombinierte Garage mit PV-Anlagen und Ladesäule zum autarken Laden der E-Kfz bis hin zu einem Versuchsstand, in dem verschiedene Nachführungstechniken von elektrischen und thermischen PV-Anlagen sowohl horizontal als auch vertikal untersucht wurde (siehe Abbildung 2.3).

Nach dem Besuch der Labore war der Austausch aktueller Forschungsziele wesentlicher Bestandteil des Treffens. Somit konnte einerseits in aktuell laufende Projekte ein Einblick gegeben werden, andererseits konnten zukünftige Projektideen erörtert werden, aus denen sich idealerweise eine über den Personenaustausch hinaus andauernde Kooperation ergibt.

Während des Aufenthalts in Santa Maria wurde eine Konferenz veranstaltet, auf der die mitgereisten Mitarbeiter der OVGU mit Fachvorträgen die Mitarbeiter und auch viele Studierende der UFSM über ihre aktuellen Forschungsthemen informiert haben. Auch die gemeinsame Diskussion nach den Vorträgen trug zu einer gehaltvollen Vortragsreihe bei. Den Studierenden war es so möglich, neben den vor Ort bearbeiteten Forschungsthemen zum Teil auch „eher europäisch motivierte Forschungsthemen“ kennenzulernen.

Des Weiteren wurden Meetings mit leitenden Mitarbeitern verschiedener Fakultäten der UFSM organisiert. An diesen Treffen nahmen auch mehrere Dekane teil und nutzten die Gelegenheit,

²von M. Sc. Christian Rinne



Abbildung 2.3: Besuch der OVGU-Delegation des freistehenden Photovoltaik-Labors der UFSM in Santa Maria, Brasilien

um über das Forschungsprofil ihrer jeweiligen Fakultäten zu informieren. Der Austausch diente vorrangig der Kontaktknüpfung sowie zum Austausch der aktuellen Forschungsschwerpunkte von OVGU und UFSM. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden Ideen für mögliche zukünftige Kooperationen erarbeitet. Weiterhin fanden interessante Diskussionen über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der deutschen und brasilianischen Lehre statt.

Die Delegation der OVGU hatte auch die Möglichkeit die Universitätsleitung der UFSM während eines Meetings kennenzulernen. Das Treffen diente sowohl dem persönlichen Kennenlernen als auch der gegenseitigen Vorstellung der Universitätsstruktur sowie des Forschungsprofils von OVGU und UFSM. Das vorliegende Projekt wurde ausgiebig besprochen und Ideen für mögliche Folgeprojekte erarbeitet.

Der Besuch der Delegation der OVGU an der UFSM wurde mit einem Gespräch mit dem Leiter des International Office der UFSM beendet. Bei diesem Treffen wurden verschiedene Möglichkeiten Kooperation durch verschiedene zukünftige Austauschprogramm diskutiert. Professor Wolter unterbreitete dem Leiter des International Office konkrete Vorschläge für eine Nutzung von Förderprogrammen, um den wissenschaftlichen Austausch der beiden Universitäten zu fördern. Das Ergebnis des Gesprächs war, dass beide Universitäten ein gemeinsames Programm initiieren wollen, um zukünftig den Austausch zwischen den beiden Universitäten zu intensivieren.

Gemeinsames Forschungsprojekt und Austauschprogramm mit der Universidade Federal de Santa Maria in Brasilien Bereits im Oktober 2021 besuchte Herr Leonardo Nogueira Fontoura da Silva die OVGU im Rahmen des Projektes und war bis zum April 2022 als Gastwissenschaftler am LENA-Lehrstuhl tätig. Er wurde in diesem Zeitraum in die Teamstruktur des Lehrstuhls integriert und erarbeitete somit in Zusammenarbeit mit den Wissenschaftler*innen vom LENA neue Forschungsthemen im Bereich Energiespeicher und Elektromobilität.

Im Rahmen der Promotion von Muhammad Tayyab, im Bereich Energiespeicher, wurde die Zusammenarbeit mit der UFSM in Brasilien verstärkt und Frau Professorin Luciane Neves Canha wurde Gutachterin der Dissertation von Herrn Tayyab. Die Professorin von der UFSM war am 31. August 2022 zur Promotionsverteidigung von Herrn Tayyab zu Gast an der OVGU und begleitete den traditionellen Gang zum Otto-von-Guericke-Denkmal (siehe Abbildung 3.23 auf Seite 74).

Im Rahmen des wissenschaftlichen Austauschprogramms sind nach Leonardo Nogueira Fontoura da Silva die Professoren Mauricio Sperandio (Professor für Elektromechanik und Energiesysteme) und Fábio Ecke Bisogno (Professor für Leistungselektronik) von der UFSM für rund sechs Monate als Gastwissenschaftler am LENA und erarbeitet gemeinsam mit Professor Wolter und den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls neue Forschungsprojekte (siehe Abbildung 2.4). Darüber hinaus unterstützen beide Professoren die Forschungstätigkeiten der wissenschaftlichen Mitarbeiter am LENA und werden im Wintersemester 2022/23 im Rahmen der Lehrveranstaltungen des Lehrstuhls einzelne Vorlesungen an der OVGU halten.



(a) M. Sc. Leonardo Nogueira
Fontoura da Silva



(b) Prof. Mauricio Sperandio



(c) Prof. Fabio Ecke Bisogno

Abbildung 2.4: Brasilianische Gastwissenschaftler am LENA

Beide Gastprofessoren haben am 12. August 2022 im Rahmen des monatlichen LENA-Lehrstuhl-kolloquiums ihre Forschungsinteressen und Schwerpunkte vorgestellt. Darüber hinaus unterstützen beide Professoren regelmäßig die Ausbildung von angehenden Absolventen am LENA im Rahmen der Bachelor- und Masterverteidigungen.

Bachelor in Magdeburg und Charkiw - Kooperation mit der Ukraine³

Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg bietet in Zusammenarbeit mit der Nationalen Technischen Universität in Charkiw, Ukraine, ab dem kommenden Wintersemester ukrainischen Abiturientinnen und Abiturienten ein Doppelabschlussprogramm an. Das „Deutsche-Studiengänge-2-Programm“ (DSG-2) ist eine Ergänzung zum bereits bestehenden Deutsche-Studiengänge-Programm (DSG), das vom Deutschen Akademischen Austauschdienst DAAD gefördert wird. Die Idee des DSG-2-Programms ist es, nach Deutschland geflüchteten ukrainischen Abiturientinnen und Abiturienten einen leichteren Einstieg in das deutsche Hochschulsystem zu ermöglichen.

Es steht aber ebenso Abiturientinnen und Abiturienten offen, die sich in der Ukraine befinden. Das Bildungssystem ist in Deutschland so gestaltet, dass ukrainische Schulabgängerinnen und -abgänger nicht direkt an einer deutschen Universität aufgenommen werden können, da in der Ukraine das Abitur bereits nach der 11. Klasse abgeschlossen wird. Um an einer deutschen Universität studieren zu können, müssten sich ukrainische Abiturientinnen und Abiturienten im Normalfall zumeist kostenpflichtig an einem deutschen Studienkolleg mit begrenzten Studienplätzen einschreiben. Das DSG-2-Programm der Universitäten in Magdeburg und Charkiw bietet eine Alternative: Die ukrainischen Abiturientinnen und Abiturienten werden an der Universität in Charkiw für ein Jahr zunächst ein Online-Fernstudium absolvieren und dabei Deutschkurse besuchen. Danach und mit Erreichen des Sprachniveaus B1 können sie im Wintersemester 2023/24 an die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wechseln.

Im Fernstudium an der Nationalen Technischen Universität Charkiw werden die Studierenden erste technische Grundlagen lernen und Deutsch. Im zweiten Jahr kommen sie dann nach

³von M. Sc. Marc Gebhardt

Magdeburg und werden in einen der Studiengänge der Fakultäten für Elektrotechnik und Informationstechnik, für Maschinenbau oder für Verfahrens- und Systemtechnik immatrikuliert. Die Studierenden werden in die regulären Bachelorstudiengänge an der Universität Magdeburg immatrikuliert und in Präsenz in Magdeburg studieren. Die administrative Betreuung erfolgt durch das DSG-Büro, das im Rahmen des bestehenden DSG-Projektes bereits an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg eingerichtet wurde. Alle beteiligten Fakultäten stellen außerdem einen DSG-Koordinator, der ähnlich wie Studienfachberaterinnen und -berater den Studierenden als Ansprechperson zur Seite steht. Das Bachelorstudium im DSG-2-Programm wird vier bis vereinhalb Jahre dauern.

Für das DSG-2-Programm gelten die Zulassungsvoraussetzungen: Alle ukrainischen Abiturientinnen und Abiturienten müssen für die Immatrikulation an den ukrainischen Universitäten einen nationalen multidisziplinären Test (NMT) ablegen und Auswahlgespräche mit den VertreterInnen beider Universitäten absolvieren. Ausgenommen sind Bewerberinnen und Bewerber aus Gebieten in denen Kriegshandlungen stattfinden, beispielsweise Charkiw, Mariupol und Cherson.

2.5.2 Aktivitäten in Verbänden

Summer Edition der EMV 2022: Community feierte lang ersehntes Zusammenkommen am neuen Standort Köln⁴

Europas wichtigster Treffpunkt für die elektromagnetische Verträglichkeit, die EMV, lud vom 12.07. bis 14.07.2022 zum Netzwerken, Weiterbilden und mehr auf das Kölner Veranstaltungsgelände ein. Knapp 2500 Fachbesucher*innen nutzten das vielseitige Angebot der Fachmesse, des wissenschaftlichen Kongresses und der Workshops.



Abbildung 2.5: Karrieretag Young Professionals & Studierende auf der EMV 2022

Gemäß dem Motto „Creating a compatible future“ präsentierten 91 ausstellende Firmen und Partner Produktneuheiten, Serviceleistungen und Lösungsansätze für die EMV von Morgen. Ergänzend leistete der Kongress, der von deutsch- und englischsprachigen Workshops begleitet wurde, einen ausgezeichneten Beitrag zur Weiterbildung und bot Teilnehmenden aufschlussreiche Lösungen und Antworten auf aktuelle Branchenthemen.

Die Fakultät war bei der Messe u. a. durch Mathias Magdowski vom Institut für Medizintechnik vertreten, der am 13. Juli mit einer kleinen Führung den „Karrieretag für Young Professionals &

⁴von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

2 Studium und Lehre

Studierende“ leitetet und allen Teilnehmenden spannende Einblicke in die elektromagnetische Verträglichkeit gab (siehe Abbildung 2.5).

Besichtigung der Leitwarte im Rahmen der Volkshochschule⁵

Im Rahmen des Programms der Volkshochschule Magdeburg wurde am 07. April 2022 die Leitwarte interessierten Bürgern vorgestellt (siehe Abbildung 2.6). Nach einem Einstiegsvortrag von Prof. Wolter folgte die Simulation des Energienetzes in der 50 Hertz Transmission Regelzone und im sachsen-anhaltinischen 110 kV-Verteilnetz. Der Besuch wurde mit einer regen Diskussion rund um die Themen Energiewende, Freileitungszubau und Kernkraft abgeschlossen.



Abbildung 2.6: Besichtigung der Leitwarte im Rahmen der Volkshochschule

Stromnetz als kritische Infrastruktur⁶

Was passiert bei einem gezielten Anschlag auf das Stromnetz? Die Bundeswehr informierte sich am 13.09.2022, wie das Stromnetz gesteuert wird und was bei einem Blackout passiert. Nach einem Vortrag von Christian Klabunde und einer darauffolgenden Live-Demonstration wurden die Aufgaben und Verantwortungen des Leitwarten-Personals dargestellt. Es ging im Detail um eine Katastrophe bei einem Blackout und wie dieser verhindert werden kann. Da das Stromnetz die wichtigste kritische Infrastruktur (KRITIS) ist, waren die Soldaten dankbar für die Informationen, die wir Ihnen mit auf den Weg geben konnten.

IEEE Student Branch Magdeburg

Wie in so vielen Bereichen war auch die IEEE Student Branch Magdeburg durch die Einschränkungen im öffentlichen Leben stark betroffen. Nichts desto trotz konnten neben den traditionellen Workshops, einige gemeinschaftliche Aktivitäten unternommen werden, die nachfolgend beschrieben sind.

Exkursion zum Gravitationswellen-Detektor⁷ Am 07.Juni fand die von der IEEE Student Branch organisierte Exkursion zum Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und zum GEO600 Hannover statt. Das Ziel hierbei war es zusammen mit Studierenden und Promovierenden einen

⁵von M. Sc. Eric Glende

⁶von M. Sc. Eric Glende

⁷von M. Sc. Kevin Ladentin

Einblick in die theoretische und praktische Detektion von Gravitationswellenereignissen zu erhalten.

Gravitationswellenereignisse entstehen bei einer Kollision von schwarzen Löchern oder Neutronensternen, also Objekten mit einer unvorstellbar großen Masse. Diese Ereignisse krümmen den Raum und sind somit über einen Laserstrahl innerhalb eines Michelson Interferometers messbar. Die Länge des Laserstrahls wird bei solch einem Ereignis in der Größenordnung des Durchmessers eines Elektrons verändert, was die Messgenauigkeit zur wichtigsten Komponente der Gravitationswellendetektoren macht. Diese Technologie wurde anfangs in einem interessant und interaktiv gestalteten Vortrag am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik vorgestellt. Der Besuch wurde durch eine Besichtigung des Großrechners Atlas abgerundet.

Dieser Cluster dient den Forschern dabei, hochkomplexe numerische Simulationen mit vergleichbar geringem Zeitaufwand durchzuführen. Im Anschluss ging es in das südlich von Hannover gelegene Sarstedt mitten auf ein Feld. Hier steht der größte deutsche Gravitationswellendetektor GEO600. Eine handvoll Container mitten in einem Feld wirken von außen zwar sehr unscheinbar, was sich aber innerhalb dieser Container seit nun fast 30 Jahren abspielt ist umso beeindruckender. Das GEO600 und die dahinter stehenden Wissenschaftler erforschten viele Technologien, die nun an den größten Gravitationswellendetektoren in Europa und den USA im Einsatz sind und seit 2015 auch den direkten Nachweis von Gravitationswellen ermöglichen.

Technical Talks⁸ Die IEEE Student Branch Magdeburg hat Vertreter eines international erfolgreichen Konzerns, eines deutschen Bergbauunternehmens sowie eines erfolgreichen Dienstleisters in der Automobilbranche eingeladen, die einen Einblick in den Berufsalltag gaben und zeigten, was mit einem Hochschulabschluss im Bereich Elektrotechnik möglich ist, siehe Abbildung 2.7a. Als Nachfolgeveranstaltung der Technical Talks waren alle Teilnehmer eingeladen, weitere Fragen zu den vorgestellten Themen zu stellen oder sich in entspannter Atmosphäre beim Grillen auszutauschen.

bIEEEr-Reinlötkurs⁹ Nach einer langen Zeit des Verzichts und der sozialen Distanz hat die IEEE Student Branch Magdeburg am 13. Oktober zum gemeinsamen Feiern geladen. In Anlehnung an den für alle Erstis stattfindenden „Lötkurs“ wurde dazu der „bIEEEr-Reinlötkurs“ als abendliches Pendant mit DJ, Grill und natürlich Bier sowie anderen Getränken 2021 ins Leben gerufen und dieses Jahr wiederholt. Wie schon letztes Jahr sichtbar, war der Bedarf für so ein ausgelassenes Zusammenkommen dieses Jahr ebenfalls groß. Etwa 150 Studierende, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und auch ein paar Professorinnen und Professoren waren dabei, siehe Abbildung 2.7b.

Dass dieses Event eine große Aufmerksamkeit bekam, lag nicht zuletzt daran, dass im Vorfeld eigens dafür bedruckte Getränkebecher bei Vorlesungen, Übungen und anderen Gelegenheiten verteilt wurden und einer hohen Nachfrage nachkamen. Die Becher erfüllten gleich mehrere Zwecke: Die Veranstaltung konnte mit Ihnen beworben werden, ein auf Ihnen befindlicher QR-Code verweist auf eine Webseite, die zum einen informierte und zum anderen von der IEEE Student Branch Magdeburg auch künftig nach Belieben gestaltet werden kann und alle Besitzer eines Bechers konnten sich kostenlos Bier oder nicht-alkoholische Getränke einfüllen lassen. Gerade letzteres war für viele Studierende wohl ein dankbares Angebot. Eine großzügige Grillgutauswahl komplettierte die Versorgungswünsche aller Teilnehmenden. Dank des Live-DJs wurde die ohnehin gute Stimmung noch weiter verbessert. Das Event war nun auch im 2. Jahr in Folge ein voller Erfolg.

⁸von Dipl.-Ing. Max Rosenthal

⁹von M. Sc. Benjamin Hoepfner



(a) Technical Talks



(b) bIEEEer-Reinlötkurs

Abbildung 2.7: Eindrücke aus den Veranstaltungen der IEEE Student Branch Magdeburg

2.5.3 Exkursionen

LENA erneut bei der Firmenstaffel dabei¹⁰

Das Team LENA voller ELAN nahm erfolgreich an der diesjährigen Firmenstaffel teil. Nach zwei Jahren digitalen Wettbewerbs, gingen die fünf Mitarbeitenden gegen 602 weitere Teams im Elbauenpark an den Start. In einer Gesamtzeit von 1 Stunde und 8 Minuten und 15 zurückgelegten Kilometern konnte sich das Team (siehe Abbildung 2.8) auf den 32. Platz kämpfen. Nach der Firmenstaffel warteten kühle Getränke und gute Musik bei der After-Run-Party auf alle Teilnehmenden, so dass auch die Kontaktpflege mit Partnern der regionalen Wirtschaft und Forschung ein voller Erfolg war. Die genauen Zeiten können im Ergebnisportal der Firmenstaffel abgerufen werden.



Abbildung 2.8: LENA-Team bei der Firmenstaffel 2022.

¹⁰von M. Sc. Marc Gebhardt

2.5.4 Studienwerbung

Leitwartenbesichtigung mit Spezialisten des Einstein-Gymnasiums¹¹

Am Montag, den 04.07.2022, kam eine Arbeitsgruppe zu Energiesystemen des Einsteingymnasiums zu uns in die Leitwarte. Interessierte Schüler der 6. bis zur 11. Klassenstufe und 2 Lehrer*innen (siehe Abbildung 2.9) lernten die Aufgaben eines Netzbetreibers im operativen Betrieb kennen. Nach einem Vortrag von Prof. Martin Wolter und einer Vorführung durch Christian Klabunde, konnten die Schüler selbst das System bedienen und versuchen das elektrische Energiesystem stabil zu halten. Selten haben wir so eine interessierte Gruppe mit einer hohen Bereitschaft selbst tätig zu werden und nachdem das elektrische Netz einmal in den Blackout gesteuert wurde (natürlich nur simuliert) haben die Schüler das Netz auch mit Anleitung stabilisieren können. Wir bedanken uns für das rege Interesse und freuen uns, wenn wir die Schüler irgendwann in dem Studiengang Elektrotechnik als Studierende wiedersehen.

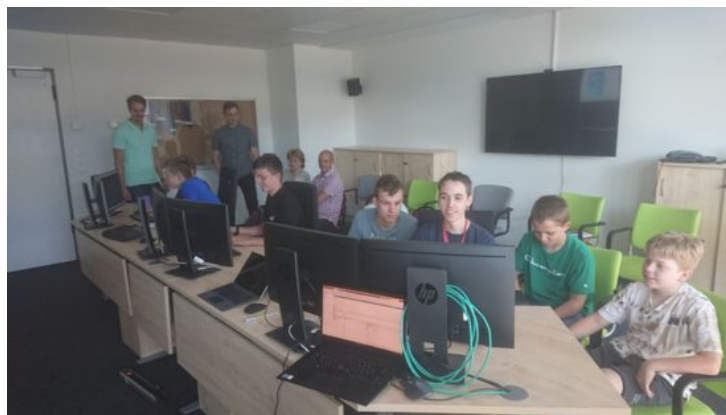


Abbildung 2.9: Schülergruppe in der Leitwarte

MINT-Mitmachaktion mit den Schülern der Grundschule Buckau¹²

23 neugierige Schülerinnen und Schüler der Klasse 3a der Grundschule Buckau besuchten am 10.03.2022 die Experimentelle Fabrik und erkundeten an mehreren Stationen die MINT-Mitmach-Angebote unserer Fakultät. In Gruppen von maximal 4 Personen wurden verschiedene Wege für die Ozobots gezeichnet, der Tor-Schuss mit dem Sphero-Roboter programmiert und auch die Rätsel am Turing Tumble erfolgreich gelöst. Wer von den Kindern ganz genau aufgepasst hat, weiß jetzt auch, wie ferngesteuerte Autos über Funkwellen gesteuert werden (siehe Abbildung 2.10) und wie das MRT-Bild einer Apfelsine aussieht. Ein großer Dank geht an unsere studentischen Unterstützer*innen Anne-Marie, Daria, Amy, Lena, Katharina und Marcus, die unsere wissbegierigen Besucher*innen an den verschiedenen Mitmach-Stationen angeleitet haben.

Digitale-Drehtür-Kurse zu Elektrotechnik und Energie¹³

Bei der Digitalen Drehtür bekommen Schüler:innen während der Unterrichtszeit die Möglichkeit, sich mit Themen und Fragestellungen aus ihren selbstgewählten Interessengebieten zu beschäftigen, mit Expert*innen aus den jeweiligen Fachbereichen in Kontakt treten, Zukunftscompetenzen

¹¹ von M. Sc. Marc Gebhardt

¹² von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

¹³ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.10: MINT-Mitmachaktion mit den Schülern der Grundschule Buckau zur Demonstration der Ausbreitung und Interferenz von Funkwellen anhand von ferngesteuerten Autos in der Absorberhalle des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit

aufbauen und ihre Potentiale nachhaltig zu entfalten. Um eine überregionale Teilnahme zu ermöglichen, finden die Kurse digital statt und sind für die Teilnehmenden kostenfrei.

Zwischen Januar und Juli 2021 fanden bereits zahlreiche Online-Kurse mit Schüler*innen aus ganz Deutschland während des Homeschoolings und des Wechsel-Unterrichts statt, an denen im Rahmen einer Inspiration Week MINT auch die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik beteiligt war. Dabei konnten die beteiligten Schüler*innen einen ersten Kontakt zu ihren Interessengebieten erhalten oder etwas über bisher noch unbekannte Wissensgebiete erfahren. Mit weiteren Angeboten der Digitalen Drehtür im November/Dezember 2021 sollte untersucht werden, wie solche Angebote während des regulären Präsenzunterrichts angenommen werden, um Kindern auch in der Schulzeit individualisiertes Lernen nach jeweiligem Interesse und im eigenen Tempo zu ermöglichen. Im Laufe des Jahres 2022 fanden weitere Digitale-Drehtür-Kurse statt, z. B. Ende April, im Juni und im Dezember.

Die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik war mehrfach mit folgenden fünf Kursen beteiligt:

1. Triffst du das Tor beim Elektrisches-Feld-Hockey?

Hier konnten die Teilnehmenden Hockey mit elektrischen Ladungen spielen, die sich gegenseitig anziehen und abstoßen. Sie platzierten dazu Ladungen auf dem Eis, drückte den Start-Knopf und versuchten, den Puck ins Tor zu bekommen. Dabei muss man auf das elektrische Feld der Ladung achten und die resultierende Bewegung des Pucks verfolgen. Die Schüler*innen konnten das Spiel dann etwas schwieriger machen, indem sie eine oder mehrere Wände vor das Tor setzten (siehe Abbildung 2.11).

2. Was passiert wenn? - virtuell Dinge kaputt machen

In diesem Workshop nutzten wir weitere interaktive virtuelle Baukästen und Experimentierumgebungen. Die Schüler*innen konnten virtuell ausprobieren, wie sich Luftballons an Wollpullovern aufladen, wie ein Dynamo oder Generator funktioniert, wie sich Radiowellen ausbreiten oder simulierte Glühlampen durch zu viel Strom und Spannung durchbrennen, wobei natürlich nicht wirklich etwas kaputt geht.

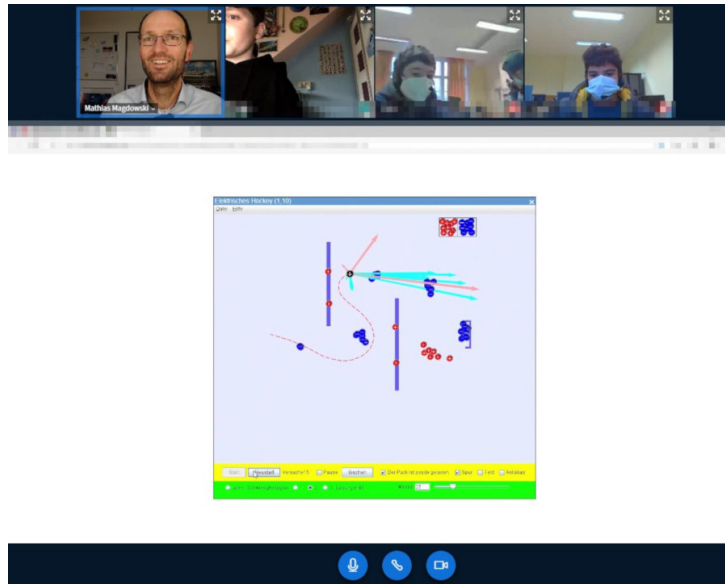


Abbildung 2.11: Online-Kurs in der Digitalen Drehtür zum Thema „Triffst du das Tor beim Elektrisches-Feld-Hockey?“

3. Halte das Stromnetz im Gleichgewicht!

Ohne unser Stromnetz gäbe es eine Menge Chaos. In diesem Workshop drehte sich alles um Elektrizität und Stromnetze. Ziel des Workshops war es zu simulieren, dass Stromnetze zu jeder Zeit die genau richtige Menge an Strom produzieren müssen, damit der Verbrauch genau gedeckt werden kann. Zudem konnten Interessierte herausfinden, wie das echte europäische Stromnetz Elektroenergie über lange Übertragungsleitungen die Leistung der Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee nach Süddeutschland transportieren würde.

4. ENTSO-E Power Flow Simulator

Im ENTSO-E-Simulator kann man das echte europäische Stromnetz simulieren und ausprobieren, was passiert, wenn an der Nordsee z. B. sehr viel Wind weht und die Elektroenergie über lange Übertragungsleitungen nach Süddeutschland transportiert werden muss. Dabei kann man mit einfachen Stromnetzen starten und diese immer realistischer gestalten.

5. Knack den Schaltkreis-Code!

Stell dir vor, du hast eine Batterie, einige Schalter und einige Lampen. Du legst einen Schalter um und eine Lampe geht an. Überleg dir, wie man die Batterie, den Schalter und die Lampe verbinden müsste, damit genau das passiert. Das klingt einfach? Okay, dann überleg mal, wie man eine Lampe mit einem Schalter ausschalten oder zwei Lampen mit nur einem Schalter einschalten könnte. Um solche und andere kleine Schaltungen geht es in diesem interaktiven Online-Spiel, das wir zusammen ausprobieren werden. Kannst du mit logischem Schlussfolgern den Schaltkreis-Code knacken?

Jeder Online-Workshop im Videokonferenzsystem BigBlueButton begann mit einer kleinen Icebreaker-Frage und einer Vorstellungsrunde, in der die Schüler*innen noch mal ihr Interesse am Workshop reflektierten und ihren Standort auf einer Deutschlandkarte eintrugen. Nach einer kurzen Erläuterung, wozu das Workshopthema im Alltag und in der Technik relevant ist, konnten die Schüler*innen die Simulationen und Spiele dann selbst ausprobieren, ihre sehr kreativen Lösungen per Bildschirmfreigabe zeigen und mit den anderen teilen. Die Workshopleiter Thomas Schallschmidt, Mathias Magdowski, Marc Gebhardt und Xenia Franzke haben dabei

etwas Hilfestellung gegeben, wobei die meisten Teilnehmenden die vorbereiteten Aufgaben mit gegenseitigem Austausch aber auch sehr gut selbstständig gemeistert haben.

Abschließend wurde die Teilnahme der Schüler*innen zentral durch die Digitale Drehtür bestätigt. Diese ist ein Angebot der Vernetzungsstelle Begabungsförderung Bremen im Landesinstitut für Schule (Abteilung 1 für Schulentwicklung und Begabungsförderung) der Freien Hansestadt Bremen. In Sachsen-Anhalt wird das Projekt durch die Webakademie des Landesinstituts für Schulqualität und Lehrerbildung (LISA) in Halle gefördert.

Vielfältige Einblicke in Forschung und Lehre beim Schülerpraktikum an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik¹⁴

In der letzten Januar- bzw. ersten Februarwoche 2022 besuchten uns gleich drei Schüler*innen der Klassenstufe 9 zu einem ein- bzw. zweiwöchigen berufsvorbereitendem Schülerpraktikum. Lilly, Louis und Javier bekamen dabei vielfältige Einblicke in den Forschungsalltag und die Lehrveranstaltungen an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik geboten.

Lilly programmierte z. B. einen kleinen Calliope-Mini-Mikrocontroller und baute damit selbst ein kleines Thermometer, das nicht nur die Raumtemperatur anzeigt sondern je nach gemessener Temperatur auch in unterschiedlichen Farben leuchtet. Außerdem gab es für sie auch eine Führung durch die Absorberhalle, die Modenverwirbelungskammern und weitere Labore des Lehrstuhls für Elektromagnetische Verträglichkeit (siehe Abbildung 2.12). Weiterhin probierte Lilly den 3D-Drucker des Elektromobilitätslabors aus, konstruierte ein eigenes kleines Bauteil in Autodesk Tinkercad und druckte es anschließend aus. Weiterhin besuchte Lilly die Lehrveranstaltung „Grundlagen der Elektrotechnik“ und konnte sich dort auch mit den „richtigen“ Studierenden über deren aktuelle Erfahrungen im Studium austauschen.



Abbildung 2.12: Die Schülerpraktikant*innen Lilly, Louis und Javier vermessen unter Anleitung von Thomas Schallschmidt die Parameter eines kleinen elektrischen Antriebs.

Die Schülerpraktikanten Louis und Javier bekamen am Lehrstuhl für Elektrische Netze und Erneuerbare Energie einen Einblick in die elektrische Energietechnik sowie das Brennstoffzellenlabor und besuchten auch die Netzleitwarte. Außerdem bauten sie unter fachkundiger Anleitung eine kleine Tesla-Spule zur Erzeugung hochfrequenter Hochspannungssignale.

Betreut wurden die drei Schülerpraktikant*innen von Eric Glende, Christian Klabunde, Thomas Schallschmidt und Mathias Magdowski. Interessierte Schüler*innen für weitere Praktika können

¹⁴von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

sich auch gern an diese Ansprechpartner bzw. das Dekanat der Fakultät wenden. Weitere Schüler*innen-Praktika an der OVGU werden über die zentrale Webseite angeboten.

„Was steckt alles in der Elektrotechnik?“ beim Zukunftstag 2022¹⁵

Ein jährliches Highlight in unserem Studienwerbungs-kalender ist der mittlerweile schon traditionelle Zukunftstag an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg, der zeitgleich zum bundesweiten Boys' Day und Girls' Day stattfindet. Dabei besuchten uns am Donnerstag, den 28. April insgesamt knapp 100 Schüler*innen sowohl zu Präsenzangeboten als auch online.

Das größte Angebot in der Experimentellen Fabrik besuchten knapp 40 Schüler*innen aus Magdeburg und dem Umland, z. B. aus Tangermünde, Irxleben oder Schönebeck. Zum Anfang gab es kleine Warm-Up- und Kennenlernspiele auf der Wiese (siehe Abbildung 2.13). Dann experimentierten die Schüler*innen aufgeteilt in insgesamt 10 Gruppen an fünf verschiedenen Stationen, z. B. mit einem Elektrobaukasten unter Anleitung unserer Studenten Maxim und Konstantin. Dort ging es um einfache Stromkreise aus Akkus, Schaltern und verschiedenen Verbrauchern, z. B. einem Motor, der einen kleinen Propeller antreibt.



Abbildung 2.13: Kennenlernspiele zum Zukunftstag 2022 an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

An Station Nr. 2 ging es um kleine Ozobot-Roboter. Diese können beim Fahren verschiedene Farben erkennen und lassen sich darüber steuern und programmieren. Auch über einen Tablet-PC konnten die Schüler*innen verschiedene Strecken vorgeben und dann testen. Dabei unterstützen unsere Studenten Ahmad und Adrian.

Roboter-Kegeln und Roboter-Minigolf gab es Station Nr. 3 mit unserem Kollegen Thomas Schallschmidt, der dazu kurz die Steuerung und Programmierung der kugeligen Sphero-Roboter erklärte. Den Rest schafften die Schüler*innen dann in eigenverantworteten Experimenten per „Versuch und Irrtum“.

An Station Nr. 4 konnten die Schüler*innen einen mechanischen Computer bauen. Das dazu genutzte „Turing Tumble“ bildet den Stromfluss durch kleine Murmeln nach, die durch mechanische Logikgatter kullern. Vielen Dank an unseren Studenten Niklas für die hilfreichen Impulse.

Wie breiten sich Funkwellen aus, wie kann man deren Frequenz messen und was passiert, wenn sich Funkwellen überlagern und Interferenzen bilden? Das konnte die Schüler*innen bei der von

¹⁵von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

mir betreuten Station Nr. 5 in unserer Absorberhalle ausprobieren. Allein die Besichtigung dieser imposanten Messhalle ist dabei natürlich schon ein Highlight für sich. Neben den praktischen Experimenten mit funkferngesteuerten Autos gab es dann auch noch ein paar Messungen der Signalformen mit einem Spektrumanalysator.

In weiteren Angeboten gab es beim Zukunftstag noch einen Einblick in das Fachgebiet Mobile Dialogsysteme von Ingo Siegert zum Thema „Was steckt in deiner Sprache? – mehr als nur Akustik!“. Ein herzliches Dankeschön geht hier an Matthias Busch für den interaktiven Vortrag.

Zum Thema der elektrischen Energietechnik gab es außerdem noch einen Online-Workshop „Wir steuern das Stromnetz der Zukunft“, bei dem die Schüler*innen mit dem ENTSO-E „Power Flow Simulator“ selbst ausprobieren konnten, wie Einspeisung und Verbrauch im westeuropäischen Energienetz gesteuert werden können. Vielen Dank an unsere Studentin Xenia für die Betreuung.

In einem weiteren Online-Angebot konnten deutschlandweit zugeschaltete Schülerinnen virtuelle Experimente zur Elektrotechnik ausprobieren und z. B. in einem digitalen Hockey-Spiel versuchen, den positiv geladenen Puck mit Hilfe der Kraftwirkung anderer positiver und negativ geladener Teilchen ins virtuelle Tor zu befördern.

Der Frage, wie eigentlich Computerspiele funktionieren und wie man von der elektronischen Schaltung zum Spiel kommt, konnte eine weitere Schüler*innen-Gruppe mit Anna Drewes und Martin Wilhelm an einem Pac-Man-Spielautomaten ausprobieren.

Wir finden, dass der diesjährige Zukunftstag eine gelungene Mischung aus Präsenz- und Online-Angebote darstellte, der auch eine überregionale Zielgruppe ansprach, hoffen, dass die teilnehmenden Schüler*innen diesen schönen MINT-Aktionstag noch lange in guter Erinnerung behalten werden, und freuen uns auf einen weiteren Zukunftstag im nächsten Jahr.

Maus-Türöffner-Tag in der Absorberhalle mit spannenden Experimenten zu Funkwellen¹⁶

Wir hatten am 3. Oktober einen sehr schönen Türen-Auf-Tag der SSendung mit der Maus in der Experimentellen Fabrik in Magdeburg. Dort haben wir für kleine und große Mausfans eine besondere Tür zu unserer Absorberhalle geöffnet, in der wir sonst die elektromagnetische Verträglichkeit von elektrischen und elektronischen Geräten testen. Wir haben mit ferngesteuerten Spielzeugautos experimentiert und deren Funkwellen untersucht. Weil man Funkwellen weder sehen, hören oder riechen kann, haben wir sie mit einem Computer hörbar und mit einem Spektrumanalysator sichtbar gemacht.

Die Kinder konnten dann die unterschiedlichen Frequenzen und Modulationen selbst untersuchen. Außerdem haben wir gemeinsam ausprobiert, ob und wie man Funkwellen abblocken oder abschirmen kann. Mit einer Mauer aus Kindern klappt das nicht. Mit einem Käfig aus einem Metalldrahtgitter funktioniert es dagegen schon. Doch warum sind Antennen manchmal ganz schön lang (wie beim Radio) und manchmal ganz kurz (wie beim Handy), und was hat das mit der Wellenlänge und Frequenz der Funkwellen zu tun? Das konnten die Kinder mit selbst erzeugten Wellen auf einem Gummiband ausprobieren!

Zum Schluss gab es noch ein weiteres praktisches Experiment mit zwei Wassergläsern, einem Metalltopf und einer Haushaltsmikrowelle. Das Wasserglas im Metalltopf bleibt kalt, das Glas außerhalb wird warm. Warum? Der Metalltopf schirmt die Mikrowellen (kurzen Funkwellen) ab!

¹⁶von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.14: Demonstration des Zusammenhangs zwischen Wellenlänge und Frequenz mit einem Gummiband beim Maus-Türöffner-Tag in der Absorberhalle

Um die Wartezeit bis zum Start der gemeinsamen Experimente zu verkürzen, gab noch einige kleine MINT-Mitmachstationen im Foyer der Experimentellen Fabrik, z. B. unseren Elektrobaukasten, kleine Ozobots oder Morse-Geräte.

Vielen Dank an die Fakultätskollegen Thomas Schallschmidt und Mathias Magdowski für die Betreuung der Kinder und an Toni Müller von Prorektorat für Studium und Lehre für die Organisation der Anmeldung.

Berufsorientierungs- und Bildungsmesse PERSPEKTIVEN 2022¹⁷

Zwei volle Tage waren unser Studienfachberater Dr. Thomas Schallschmidt zusammen mit den Studenten Steffen Bach und Marcus Nagel auf der PERSPEKTIVEN-Messe für Bildung und Berufsorientierung in Magdeburg aktiv. Das Mitmachangebot „RoboPicasso“ unserer Fakultät erregte wie so oft Aufsehen und weckte Interesse bei den Besucher*innen (siehe Abbildung 2.15). Die entstandenen „Roboter-Kunstwerke“ wurden diesmal nach Abschluss der Messe an Interessierte verteilt.

Insgesamt war die Messe sehr gut besucht und es kam zu vielen Gesprächen rund ums Studium, die Technik (also die kleinen Sphero-Roboter als Basis der rollenden RoboPicasso-Pinsel) und auch die Forschung an unserer Universität.

Einblick in die Studien- und Ausbildungsmöglichkeiten an der OVGU bei der KickStart-MINT-Messe¹⁸

Bereits seit 1998 veranstaltet das Bildungswerk der Wirtschaft Sachsen-Anhalt e. V. zusammen mit dem Netzwerk SCHULEWIRTSCHAFT in Sachsen-Anhalt die KickStart-Messe zur Berufs- und Studienorientierung mit Fokus auf den MINT-Bereich um Mathematik, Information, Naturwissenschaften und Technik.

In diesem Jahr beteiligte sich die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg zum zweiten Mal mit einem vielfältigen Mitmach- und Informationsangebot an der zweitägigen Messe, die wie schon im letzten Jahr im Innovations- und Gründerzentrum in Barleben stattfand.

¹⁷ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

¹⁸ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

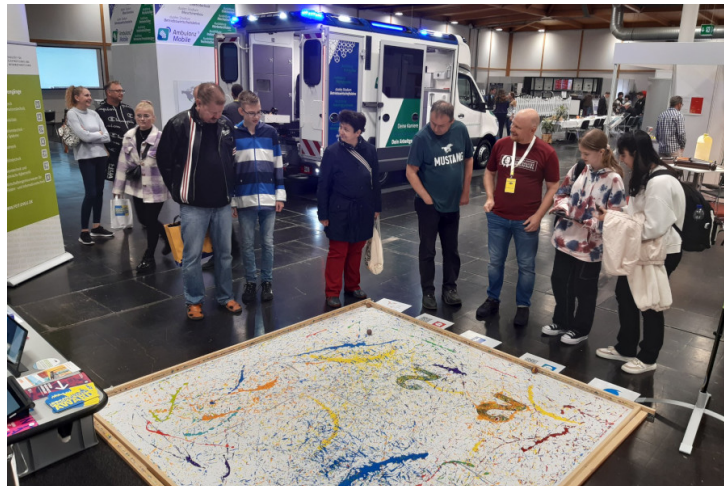


Abbildung 2.15: Mitmachangebot „RoboPicasso“ bei der Berufsorientierungs- und Bildungsmesse PERSPEKTIVEN 2022

Am Freitag, den 09. September besuchten vor allem Schulklassen aus weiterführenden Schulen die Messe. Am Samstag, den 10. September nutzen dann insbesondere einzelne Schüler*innen und Eltern die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Studien- und Ausbildungsberatung.

Am Stand der Otto-von-Guericke-Universität waren folgende Einrichtungen und Initiativen beteiligt:

Rettungswagen der Zukunft: Im „Rettungswagen der Zukunft“ des Medizintechnik-Forschungscampus STIMULATE konnten Schüler*innen verschiedene medizintechnische Geräte ausprobieren und sich über ein Studium der Medizintechnik informieren.

SchüLaTech: Das Schülerlabor-Technik (SchüLaTech) bot einen Einblick in die Möglichkeiten des Lehramt-Studiums und die Technik-Didaktik, unter anderem mit einem Bastelangebot von kleinen Robotern und Laufbürsten.

robOTTO: Das Team robOTTO der OVGU stellte den selbst-entwickelten und eigenständig programmierten Industrieroboter „Euler“ vor, mit dem die Gruppe an verschiedenen nationalen und internationalen Robotik-Wettbewerben teilnimmt.

RoboPicasso: Die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik war mit der Mitmach-Aktion „RoboPicasso“ vertreten, die Kunst und Technik auf interessante Weise miteinander verbindet. Schüler*innen steuern oder programmieren dabei mittels Tablet-PC kleine rollenden Roboter, die verschiedene Farben auf einer großen Leinwand verteilen. Dabei entstehen durch die direkte Zusammenarbeit von Menschen und Robotern abstrakte und farbenfrohe Kunstwerke, die zur weiteren Diskussion der zugrundeliegende Elektro- und Informationstechnik anregen (siehe Abbildung 2.16).

Insgesamt war die Messe an beiden Tagen sehr gut besucht und bot vielfältige Möglichkeiten zum intensiven Austausch zwischen den Besucher*innen und den ausstellenden Institutionen und Betrieben. Wir danken allen Aktiven der OVGU, die insbesondere am Wochenende die Stände betreuten.

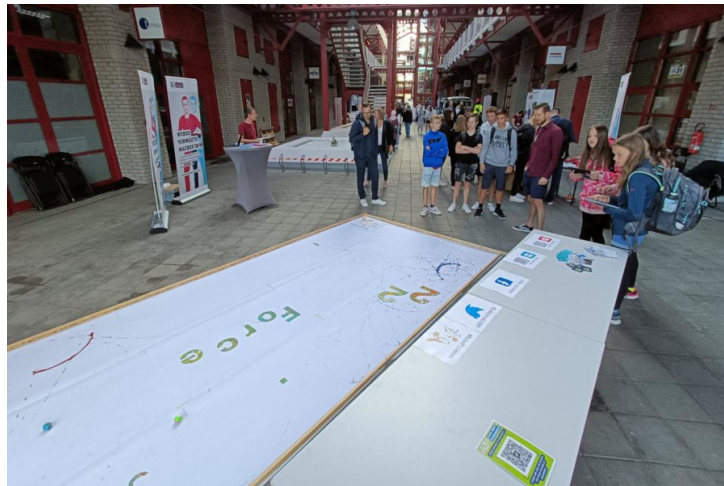


Abbildung 2.16: RoboPicasso bei der KickStart-MINT-Messe zur Berufs- und Studienorientierung im Innovations- und Gründerzentrum in Barleben

Große Beteiligung bei Campuspitch - Wirtschaft trifft Elektro- und Informationstechnik¹⁹

Etwa 80 Studierende der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik nutzten am Mittwoch den 11. Mai 2022 die Chance, regionale Unternehmen aus der Branche zu treffen und sich über Praktikumsplätze, Trainee- und Werksstudierenden-Stellen, Möglichkeiten für Abschlussarbeiten und Karrierechance zu informieren. Eingeladen hatte dazu der Career Service der Otto-von-Guericke-Universität.



Abbildung 2.17: Eröffnung des ersten Campuspitch für Elektro- und Informationstechnik

Die Veranstaltung auf dem Eventgelände vor Gebäude 16 begann mit einem Informationsangebot für die Studierenden der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik. Nach einem kleinen Mittags-Snack und Getränken begrüßte Mathias Magdowski die Studierenden und motivierte mit einem knappen Rückblick auf seine Studienzeit und sein Industriepraktikum, den intensiven und individuellen Austausch mit den teilnehmenden Firmen zu suchen. Danach hatten die 10 Firmenvertreter*innen jeweils ebenso die Möglichkeit, in kurzen Pitches ihre Unternehmen vorzustellen (siehe Abbildung 2.17). Anschließend konnten sich die Studierenden in Einzel- und Gruppengesprächen mit den Firmen austauschen und Kontakte knüpfen.

¹⁹von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

Ein großer Dank geht an Nance Kämmerer vom Career Service der Otto-von-Guericke-Universität für die Organisation und Jaqueline Sell von der Investitions- und Marketinggesellschaft Sachsen-Anhalt mbH für die Unterstützung.

2.5.5 Preise

Erneute Auszeichnung von Dr.-Ing. Mathias Magdowski mit einem der Lehrpreise der Otto-von-Guericke-Universität

Wir gratulieren unserem wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr.-Ing. Mathias Magdowski recht herzlich zur Auszeichnung mit einem der beiden diesjährigen Lehrpreise (<https://www.ovgu.de/lehrpreis.html>) der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg. Der zweite, ebenso mit 5.000 Euro dotierte Lehrpreis 2022 geht an den Wirtschaftswissenschaftler Prof. Dr. Christopher Schlägel der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft.

Dr. Magdowski hat im Sommersemester 2022 auf vorbildhafte Weise digital unterstützende Lehrkonzepte erarbeitet und neue Lehrformate, die analoge und digitale Elemente auf interaktive Weise zusammenführen, etabliert. Studierende der Fakultät lobten außerdem die Kreativität und Variabilität bei der Erstellung von Inhalten und der Nutzung der verschiedenen Medien und Kanäle wie Instagram (<https://www.instagram.com/dailygetquiz>), YouTube (<https://www.youtube.com/c/MathiasMagdowski>) und Twitch (<https://www.twitch.tv/mathiasmagdowski/>).

Wir wünschen Dr. Magdowski in Zukunft ebenso viel Motivation und Engagement für die beständige und kreative Weiterentwicklung von studierendenzentrierten Lehrveranstaltungen an unserer Fakultät, der Verknüpfung von Online- und Präsenzlehre in hybriden Formaten und der individuellen Unterstützung von Studierenden in Projekten und Abschlussarbeiten. Es ist nach einer ersten Auszeichnung im Jahr 2018 bereits der zweite Lehrpreis für Dr.-Ing. Mathias Magdowski. Die Lehrpreise wurde ebenso wie die Forschungs- und Dissertationspreise im Rahmen des Akademischen Festaktes der Otto-von-Guericke-Universität am 29. November verliehen (siehe Abbildung 2.18).



Abbildung 2.18: Gratulation an die Lehrpreisträger Prof. Dr. Christopher Schlägel der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft und Dr.-Ing. Mathias Magdowski der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik (Foto: Jana Dünnhaupt, OVGU)

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.

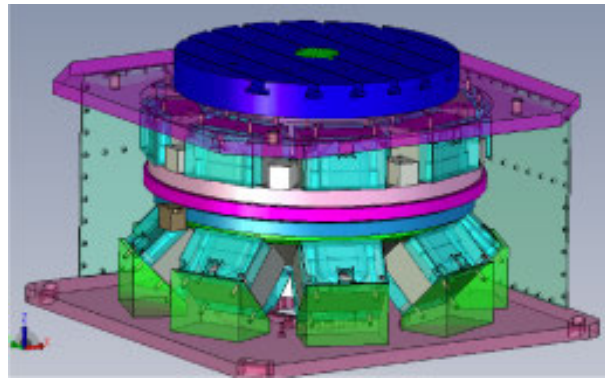


Abbildung 3.1: Magnetisch gelagerter Rundtisch

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.

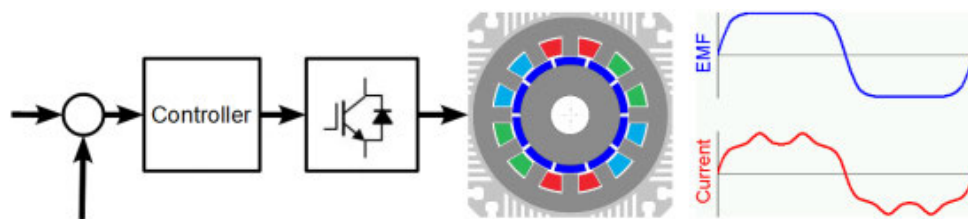


Abbildung 3.2: Regelung von Maschinen nicht sinusförmiger elektromotorischer Kraft

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.

Mechanische Übertragungssysteme sind durch ihren Verschleiß und die damit verbundene Wartung gekennzeichnet. 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

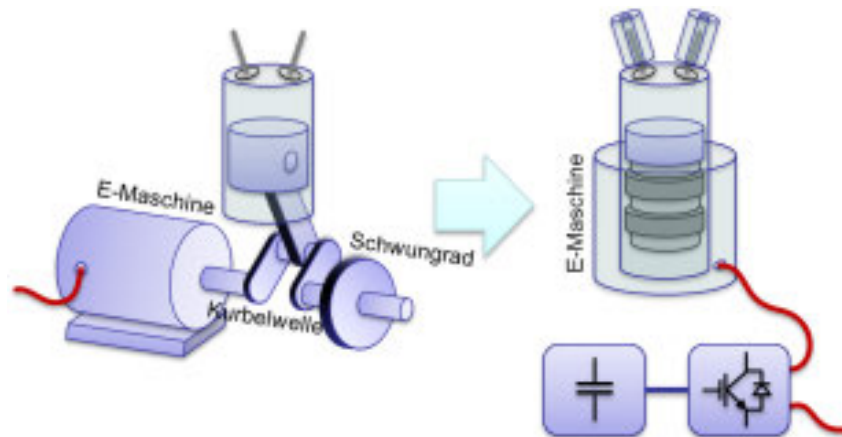


Abbildung 3.3: Einsatz von elektrischen Linearmaschinen bei Verbrennungsmotoren

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.

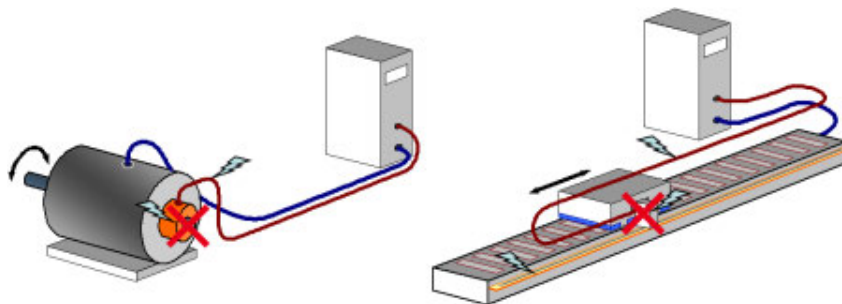


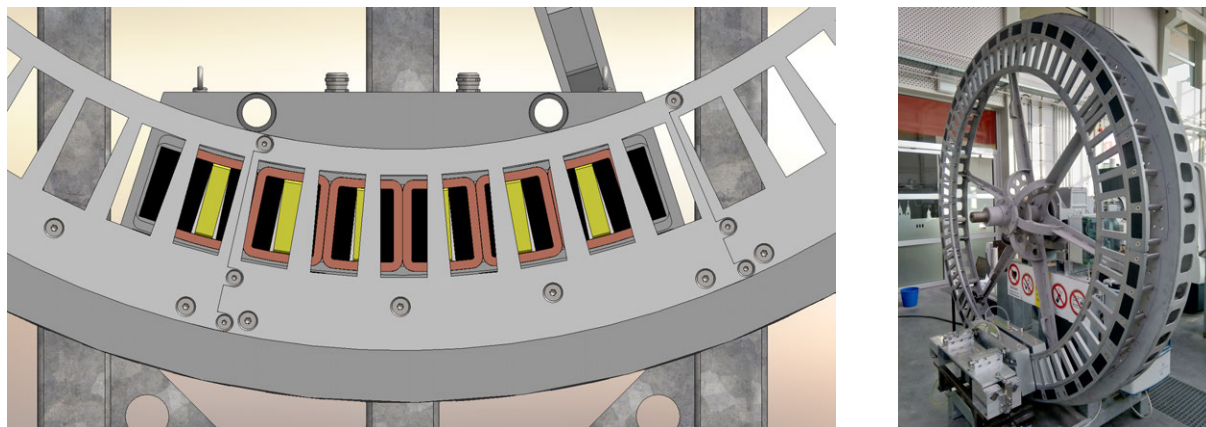
Abbildung 3.4: Sensorlose Regelung elektrischer Maschinen

3.1.2 Forschungsprojekte

Forschungsprojekt Ringsegmentgenerator (RING-GEN)¹

Im Rahmen des Forschungsprojektes RING-GEN wurde am Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme in Zusammenarbeit mit den mittelständischen Unternehmen Gräber Feinwerktechnik GmbH und Hesseland GmbH ein Ringsegmentgenerator für ein Klappschaufelwasserrad entwickelt. Die Entwicklung, die Auslegung und die Tests eines Labormusters erfolgten auf Seite des Lehrstuhls, während die Konstruktion, die Prototypenfertigung und die Integration des Generators in die Anlage von den externen Projektpartnern übernommen wurde. Dieses Projekt verfolgte das Ziel, einen möglichst energieeffizienten und skalierbaren langsamlaufenden Generator-Prototyp zu fertigen, der eine grundlastfähige regenerative Energieerzeugung durch Wasserkraft ermöglicht.

¹von Dr.-Ing. Mario Stamann



(a) CAD-Modell des Stators und des Rotors

(b) Versuchsstand

Abbildung 3.5: Ringsegmentgenerator RING-GEN-Prototyp

Den Aufbau der Prototypenkonstruktion zeigt Abbildung 3.5. Eine Besonderheit dieser Konstruktion ist die Möglichkeit die Brems- oder Antriebskraft direkt am Rotorring auszuleiten, sodass auf eine zentrale Welle verzichtet werden kann. Im Gegensatz zu konventionellen permanenterregten Maschinen existieren keine Dauermagnete im Rotor. Somit ist das Problem der Anhaftung magnetisch leitfähiger Umgebungspartikel am Rotor und die damit erforderliche Kapselung der Permanentmagnete vollständig gelöst. Der Stator wirkt im Generatorbetrieb wie eine elektromagnetische Bremse mit Energierückgewinnung, kann aber auch Antriebskräfte erzeugen und damit als Antriebseinheit eingesetzt werden.

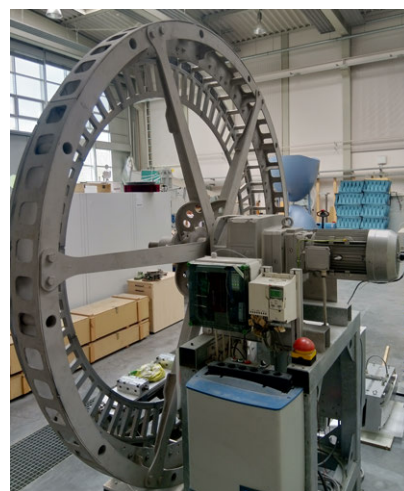
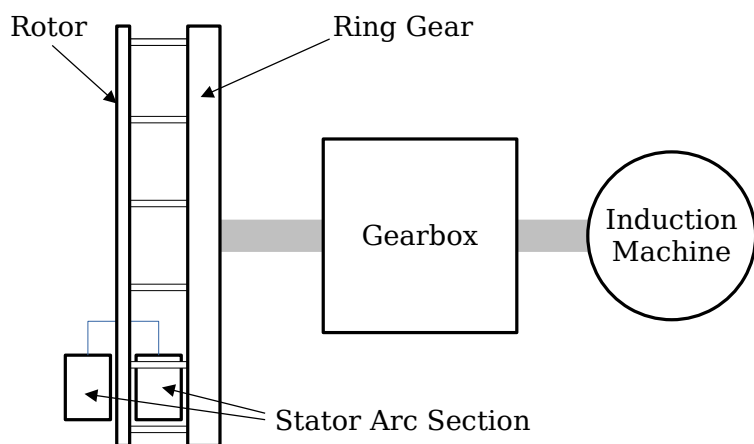


Abbildung 3.6: Prinzipbild und Rückansicht des Versuchsstandes zur Leistungsmessung

Nach Überarbeitung und Optimierung der Statoraufhängung und der Rollenführungen konnten mit dem Prototypen umfangreiche Messungen im rotatorischen Betrieb zunächst mit einem relativ großen Luftspalt von ca. 3 mm durchgeführt werden.

Dazu gehörte die Messung des erzeugten Drehmomentes in Abhängigkeit vom Statorstrom, die Ermittlung der momentanen elektrischen Leistungsaufnahme der Asynchronmaschine und die gleichzeitige Bestimmung der erzeugten elektrischen Leistung des Generator-Prototypen in unterschiedlichen Betriebspunkten. Mit Hilfe dieser Messungen war es möglich die Verluste der gesamten Versuchsanlage zu erfassen und einen Vergleich der Effizienz zwischen einem konventionellen Drehstromantrieb mit Getriebestufe und dem entwickelten direkt angetriebenen Generator

vorzunehmen. Abbildung 3.6 zeigt den Aufbau des Versuchszustandes mit Asynchronmaschine und Getriebestufe als Antriebseinheit und den direkt gekoppelten Ringsegmentgenerator.

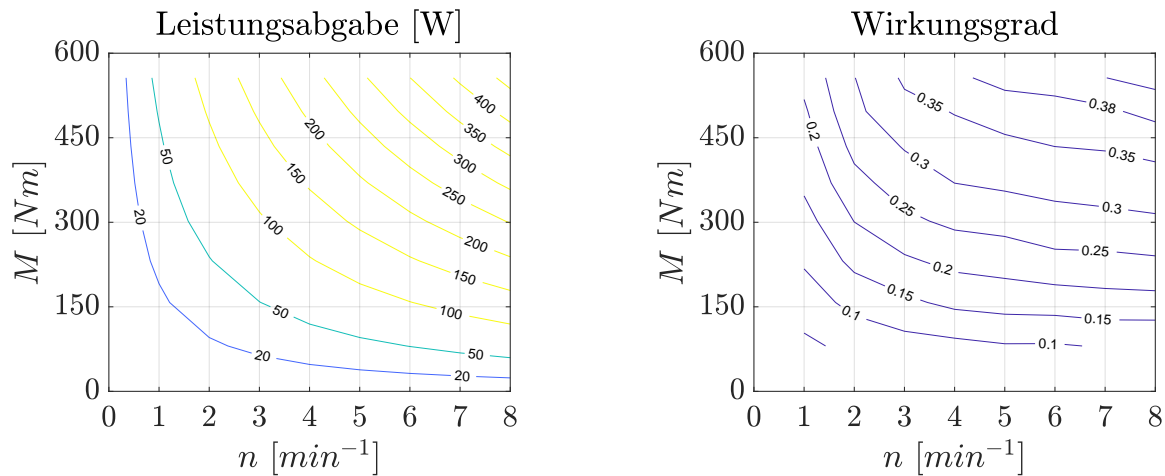


Abbildung 3.7: Mechanische Leistung und zugehöriger Wirkungsgrad der Asynchronmaschine mit Getriebe im Motorbetrieb

Die messtechnischen Ergebnisse der Leistungsmessung der Asynchronmaschine mit Getriebe im Motorbetrieb sind in Abbildung 3.7 dargestellt. Für dieses konventionelle Antriebssystem wird ein relativ kleiner maximaler Wirkungsgrad von nur 40 % bei hoher Last und hoher Drehzahl erreicht. Dieses Ergebnis ist auch im generatorischen Betrieb zu erwarten.

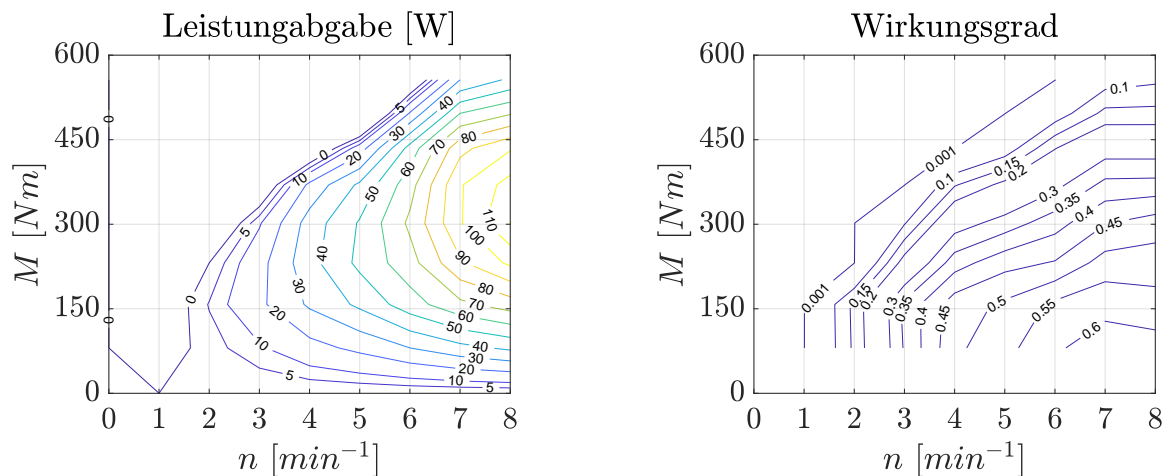


Abbildung 3.8: Elektrische Leistung und zugehöriger Wirkungsgrad des Ringsegmentgenerators bei einem Luftspalt von 3 mm

Die Messungen am Ringsegmentgenerator sind in Abbildung 3.8 dargestellt. Hier ist die maximal erzeugte elektrische Leistung von nur 120 W relativ klein. Im niedrigen Lastbereich wird jedoch ein deutlich höherer Wirkungsgrad als beim konventionellen Antrieb erreicht, obwohl der Luftspalt am Prototyp mit 3 mm noch relativ groß ist. Bei höherer Belastung fällt die Leistung und der Wirkungsgrad stark ab, was in den ansteigenden Stromwärmeverlusten begründet liegt.

Die im Projekt weiterentwickelte Generatorkonstruktion erfüllt die ursprünglich geplanten Anforderungen und besitzt Potential zur weiteren Optimierung. Eine Vermarktung dieses Ringsegmentgenerators ist durch die beteiligten Projektpartner geplant, wodurch ein Beitrag zur grundlastfähigen regenerativen Energiegewinnung geleistet wird.

Design and Analysis of a Blade-Embedded Limited-Angle Torque Motor for Vertical-Axis Water Turbines²

Hydropower is one of the key sources of renewable energy in the world. Unlike conventional turbines, Hydrokinetic turbines use only the kinetic energy of the flow and therefore feature much simpler constructions and their operating principles largely mitigate the impact on flora and fauna. As one type of hydrokinetic turbines, vertical-axis turbines (VAWTs, shown in Fig. 3.9) are able to exploit tidal currents in a sustainable manner. However, VAWTs suffer from alternating hydrodynamic loads, a consequence of dynamic blade stall. As an potential solution, intracycle blade pitching allows for mitigation of these effects, resulting in increased efficiency and lower structural loads.

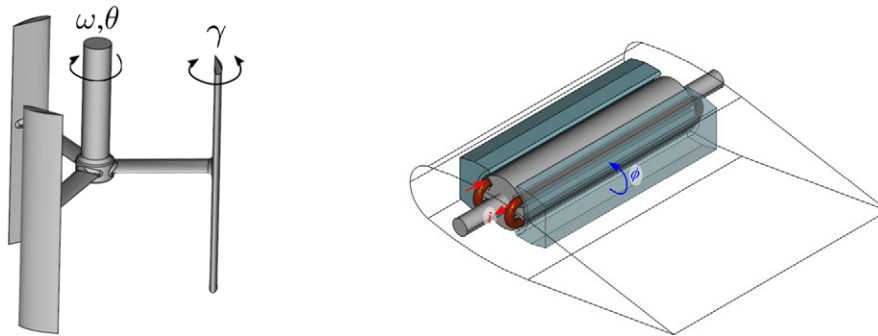


Figure 3.9: Hydrokinetic, three-bladed vertical-axis turbines (VAWT) with embedded limited-angle torque motors (LATM) in the blade

Limited-angle torque motors (LATMs) is thought to be a expected option for pitching control, but its traditional design features large diameters and small thickness. This results in the unfavourable geometry for an integration of the actuation system in the turbine rotor. Therefore, in this study, two designs for blade-embedded limited-angle torque motors are presented.

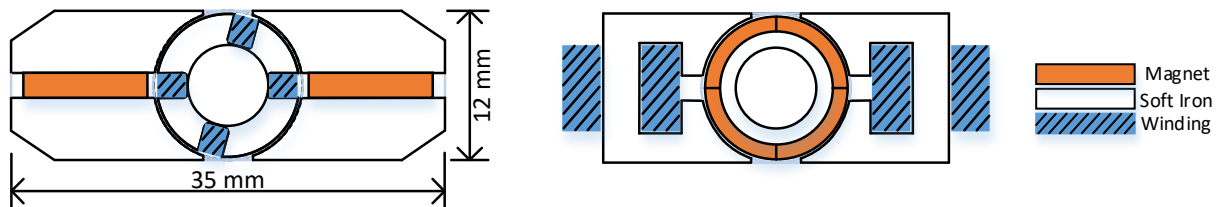


Figure 3.10: Proposed structures of the embedded limited-angle torque motors (LATM), left: torque motor TM1 with magnets in the outer part, right: torque motor TM2 with magnets in the inner part

Specifically, as shown in Fig. 3.10, in torque motor TM1 magnets are placed in the outer part, while in torque motor TM2 they are placed in the inner part. As a result, TM2 leads to higher output torque under a much lower current density on the windings. This is mainly due to the more available space of TM2 for windings, which largely mitigate the saturation of the soft iron. But in the meantime, coil wires of TM2 at ends of the structure have to move for a short distance during the oscillating pitch motion. Besides, the output torque of TM1 is more even, bringing convenience for controlling. Therefore, selection between these two designs mainly depends on the specific restriction of the application. This study also paves the way of a further theoretical research of the relationship between the current ripple and estimation error, and thus lays the foundation of an optimized parameter selection for the drives using the position sensorless control strategy.

²from Dr.-Ing. Zhao Zhao and Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold

PMSM with Hall Sensors – Which Control Method: Field-Oriented Control or Block Commutation?³

The permanent magnet synchronous machine (PMSM) should both deliver a ripple-free torque and be able to operate at a wide speed range. The electrical angle is necessary for this. The electrical angle can be measured using an angle sensor or determined using an estimation method. The use of angle sensors has the advantage that the drive system can be easily commissioned and it enables a shorter rise time. The sensors differ on the basis of the physical operating principles through the achievable resolutions. When using Hall effect sensors, which provides very low-resolution angle signal, the block commutation (BC) is the usual choice. However, the use of the field-oriented control (FOC) is also possible. Compared to an FOC with a high-resolution angle encoder signal, the control with the low-resolution sensor produces torque ripples. The torque ripples are derived in the relating paper. For this purpose, a dynamic motor model is derived from the measured electromotive force. The torque ripples are measured experimentally and compared. The different torques are shown in Fig. 3.11.

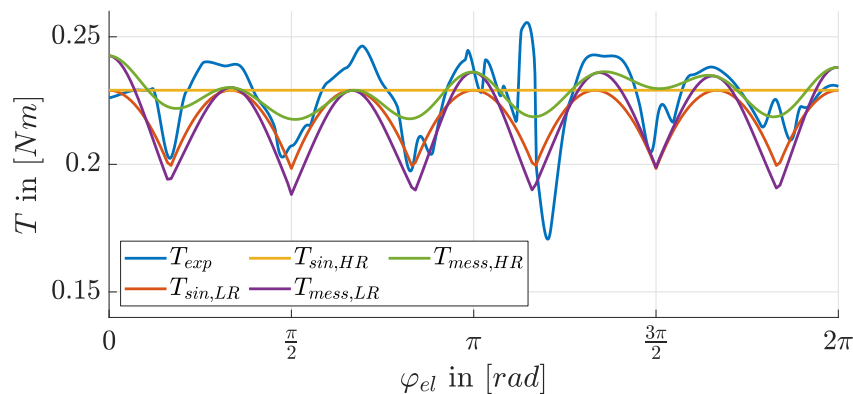


Figure 3.11: Torque depending on the electrical angle

Here it can be seen that a sinusoidal EMF and a high-resolution encoder lead to a constant torque $T_{\sin,HR}$. When using Hall sensors, there is a torque ripple $T_{\sin,LR}$ that depends on the resolution of the position sensor. The torque curves $T_{mess,HR}$ for a high-resolution encoder and $T_{mess,LR}$ for the Hall sensors result for the measured EMF of the motor. The experimentally measured torque T_{exp} from the motor with the Hall sensors has a similar curve to the theoretically determined curve $T_{mess,LR}$. However, the torque itself is independent of whether field-oriented control or block commutation is used.

In addition, the advantages and disadvantages of FOC and BC are shown and compared with the help of different experiments. It turned out that the modulation methods used contribute significantly to different losses. The possibility of direct EMF measurement was also discussed.

Design and Control of a Partially 3D Printed Valve Actuator for a Free Piston Engine⁴

The use of electronically controlled valves allows a high degree of flexibility in the operation of internal combustion engines. Due to the mechanical decoupling from the crankshaft, it is possible to operate 4-stroke free-piston engines. The valves can be controlled with the help of rotary electric machines and a camshaft or with electric linear machines. Electrical linear actuators have the advantage that almost any valve lift trajectory can be implemented and therefore no camshaft is required. However, there is the problem of controllability. It must be possible to

³from Dr.-Ing. Andreas Gerlach

⁴from Dr.-Ing. Andreas Gerlach

open and close a valve within 4 mm in a highly dynamic manner without the machines hitting the cylinder head. Another problem is that the valves are located in the combustion chamber of the internal combustion engine and can therefore become hot. Using permanent magnets in the mover would cause them to lose their magnetic properties due to heating, which would only work with very good cooling. For this reason, a linear-acting reluctance machine was developed and tested. The prototype is shown in Fig. 3.12a.

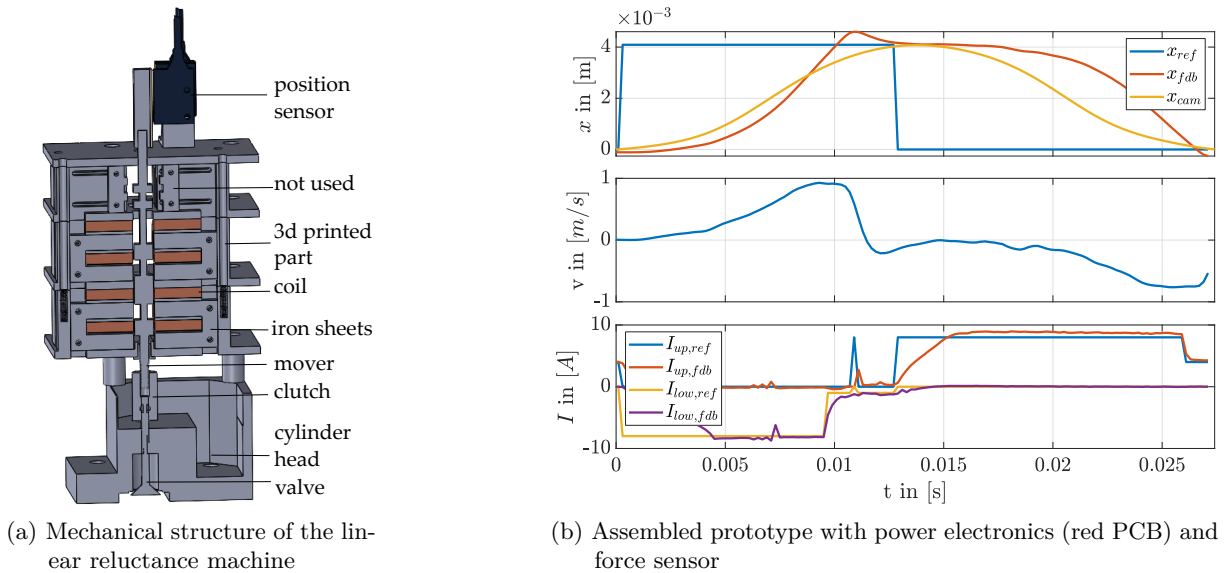


Figure 3.12: Design and control of a partially 3D printed valve actuator for a free piston engine

The mover is pulled up by a coil installed at the top and down by a coil installed at the bottom. The two coils are regulated by a microcontroller and an inverter, so the different positions can be adjusted. Another special feature of the actuator is that the stator was made of standard sheet metal and the complicated construction could be realized with the help of a 3D printer. Only the mover had to be made individually.

A cascade and on-off control structure was designed and tested for this purpose. The test results from the on-off control structure are shown in Fig. 3.12b. From the upper plot in Fig. 3.12b, it can be seen that the valve can be opened and closed within 0.025 s. For this purpose, the target positions x_{ref} , the actual position x_{fdb} and the conventional valve position trajectory x_{cam} are shown using a camshaft. The corresponding speeds v are shown in the middle plot in Fig. 3.12b. The reference and measured currents of the upper I_{up} and lower coil I_{low} are shown in the bottom plot in Fig. 3.12b. The trajectory of the current shows that the movement dynamics could be increased if the adjustable output voltage of the inverter could be increased. However, the dynamics achieved are sufficient for the free-piston engine.

3.1.3 Promotionen

Dr.-Ing. Niklas Förster: Auslegung- und Regelungsmethoden von PMSM mit nicht sinusförmiger Anisotropie für geberlose Regelung und maximales Moment

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Technische Universität Braunschweig

verteidigt am 21. April 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.13)



Abbildung 3.13: Gratulation an Niklas Förster am Otto-von-Guericke-Denkmal

Permanent erregte Synchronmaschinen mit Bruchlochwicklungen finden immer weitere Einsatzbereiche. Dies liegt an den immer leistungsfähigeren Magnetwerkstoffen sowie ihrer einfachen und somit kostengünstigen Konstruktion. Aufgrund ihrer relativ hohen Momentenwelligkeit im Vergleich zu Maschinen mit verteilten Wicklungen finden sie in den Bereichen, in denen eine hohe Positioniergenauigkeit gefragt ist, kaum Verwendung. Weiterhin können sie je nach Auslegung ein sehr schlechtes Verhalten bei der geberlosen Regelung zeigen. Im Rahmen dieser Arbeit sollten diese Nachteile der PMSM durch einen gezielten Entwurf der Maschine sowie verbesserte Algorithmen der geberlosen Regelung überwunden werden.

Hierzu wurden die Grundlagen der Modellierung von PMSM erörtert und das Standardmodell um die winkelabhängige Admittanz erweitert. In Vorbetrachtung auf den optimierten Entwurf einer PMSM wurde ein FEM-Modell der Maschine erstellt, die Eisenverluste bestimmt und das Downhill-Simplex-Verfahren eingeführt. Weiterhin wurden verschiedenen Verfahren der geberlosen Regelung erläutert und für diese die Fehler bei der Schätzung des elektrischen Winkels hergeleitet. Dadurch konnte bewiesen werden, dass für die bekanntesten Methoden der geberlosen Regelung

die nichtsinusförmige Anisotropie die Winkelschätzung gleichermaßen beeinflusst.

Für den Entwurf des Regelungskonzeptes wurde ein Verfahren zur Kompensation des Pulsationsmomentes entwickelt. Weiterhin wurde ein Verfahren für eine optimierte geberlose Regelung von Maschinen mit nicht sinusförmiger EMK vorgestellt. Auf Basis der Vorbetrachtungen wurden zwei optimierte Maschinen ausgelegt. Diese Maschinen wurden aufgebaut und auf einem Prüfstand mit eigens für diesen Versuch entworfener Hardware getestet.

Im Rahmen der Untersuchungen der entworfenen Maschinen wurde die EMK der gebauten Maschinen gemessen und mit der Simulation verglichen. Das entworfene Verfahren zur Kompensation des Pulsationsmomentes wurde an den Prototypen getestet und die Funktionstüchtigkeit nachgewiesen. Weiterhin wurde ein Verfahren zur Reduktion des Rastmomentes implementiert. Durch die Kombination dieser beiden Verfahren lässt sich die Momentenwelligkeit deutlich reduzieren. Um die Anforderungen an die Maschine aus dem Entwurf nachzuweisen, wurde die winkelabhängige Induktivität einer Maschine gemessen, als auch eine Wirkungsgradkennlinie über den Arbeitsbereich der Maschine bestimmt.

In dieser Arbeit wurde ein Ansatz zur optimierten Auslegung von PMSM-Maschinen für geberlose Regelung entwickelt. Dieser Ansatz wurde anschließend umgesetzt und erfolgreich getestet.

3.1.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] Z. Zhao, S. Hoerner und R. Leidhold, „Design and analysis of a blade-embedded limited-angle torque motor for vertical-axis water turbines“, in *11th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, PEMD 2022*, 2022.
- [2] S. Abbazsadeh, R. Leidhold und S. Hoerner, „A design concept and kinematic model for a soft aquatic robot with complex bio-mimicking motion“, *Journal of Bionic Engineering* 19 (S. 16–28), 2022.
- [3] A. Gerlach und T. Schallschmidt, „Actuator for a Free Piston Engine“, in *IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference (IEEE VPPC 2022)*, 2022.
- [4] A. Gerlach, T. Schallschmidt und M. Stamann, „Design and control of a partially 3d printed valve actuator for a free piston engine“, in *IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference (IEEE VPPC 2022)*, 2022.
- [5] A. Gerlach, A. Bucciarelli und C. Aimo, „Optimal Design of a Hybrid Energy Storage and Operation as a Power Booster for an EV“, in *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, IEEE, Sep. 2022. DOI: 10.1109/argencon55245.2022.9939955.
- [6] A. Gerlach und R. Leidhold, „PMSM with hall sensors- which control method: field-oriented control or block commutation?“, in *IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference (IEEE VPPC 2022)*, 2022.

Dissertationen und Bücher

- [1] N. Förster, „Auslegungs- und Regelungsmethoden von PMSM mit nicht sinusförmiger Anisotropie für geberlose Regelung und maximales Moment“, Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2022.

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

IDiNA⁵

Informationen sind der zentrale Treiber der Digitalisierung und stellen damit eine neue Währung in der heutigen Zeit dar. Auf dieser Basis haben sich zahlreiche neue Geschäftsmodelle entwickelt, deren Wertschöpfung sich ausschließlich auf der Erhebung und dem Vertrieb von Daten stützt. Zum Schutze vor Datenmissbrauch und dem Unwissen über die konkrete Verwendung der Daten

⁵von M. Sc. Eric Glende

hat sich in der Bevölkerung aber auch ein größeres Bewusstsein für die Wahrung der eigenen Privatsphäre entwickelt. Ungeachtet dieses Spannungsverhältnisses sind jedoch Praktiken wie Vorteilskarten (Payback, Club-Karten, etc.) kaum noch aus unserem Alltag wegzudenken. In ihnen zeigt sich, wie die Erhebung und Nutzung von Informationen zusammenwirken: ein Tauschgeschäft. Die Menschen sind bereit Zugriff auf ihre Daten zu erlauben, sofern ein mindestens gleichwertiger Nutzen für sie erkennbar ist.

Übertragen auf den Bereich der Stromversorgung als kritische Infrastruktur (KRITIS) kann dies bedeuten, dass Informationen im Allgemeinen ein wesentlicher Treiber für den Fortschritt und die Weiterentwicklung sowie Generierung technischer und ökonomischer Betriebskonzepte sein können. So kann durch die Berücksichtigung weiterer Messinfrastruktur wie intelligente Messsysteme (iMSys), dem Zubau dedizierter Messstellen oder der Ableitung von Pseudomesswerten beispielsweise eine Beobachtbarkeit der Nieder- und Mittelspannungsnetze erreicht werden. Dies stellt eine potenzielle Optimierung des Netzbetriebs-, der Netzplanung und sogar des Gesamtsystems in Aussicht. Der zweckmäßige Austausch dieser Informationen, der die genannte Wertschöpfung unterstützt, ist ebenso bedeutend wie die Erhebung selbst und wird durch die sukzessive Erweiterung der Datenaustauschprozesse gefördert. Als aktuelle Beispiele für Datenaustauschprozesse im Netzbetrieb sind u. a. der ERRP-Prozess und die Generation and Load Data Provision Methodology (GLDPM) zu nennen.

Das Zusammenspiel zwischen dem Wert einer Information, deren Erhebung sowie ihrer Akzeptanz ist von großer Bedeutung. Der konkrete Wert einer Information basiert auf der Nutzenstiftung in bestehenden und zukünftigen Prozessen der Netzbetriebsführung, der Energiemärkte oder in einem veränderten Konsumentenverhalten von Privatpersonen und Unternehmen. Insbesondere letzteres birgt die Möglichkeit den Ausstoß klimaschädlicher Gase zu reduzieren, um so nachhaltig Wert für unsere Gesellschaft und zukünftige Generationen zu bieten.

Zu den Projektzielen von IDiNA gehört die Ableitung von Strategien und Empfehlungen zur Erhöhung des (funktionalen) Kundennutzens (z. B. sicherer Systembetrieb), des betriebswirtschaftlichen Nutzens (OPEX/CAPEX-Optimierung, neue Geschäftsmodelle, Innovationen), des volkswirtschaftlichen Nutzens (Reduktion des Netzausbaus, Senkung von Netzentgelten) sowie der Nachhaltigkeit (Reduktion des CO₂-Ausstoßes). Ferner werden die Auswirkungen der Neugestaltung von Datenaustauschprozessen auf den Prozess der Netzzustandsidentifikation untersucht. Dieser bildet die Grundlage für weitere Betriebs- und Planungsprozesse, sodass eine Verbesserung der Netzzustandsidentifikation in der Nieder- und Mittelspannungsebene weitreichende Einflüsse hat. Die wirtschaftlich geprägte Untersuchung wird um eine sozio-ökonomische Betrachtung ergänzt. Diese hat zum Ziel eine höhere Akzeptanz für die steigende Informationserhebung und den zugehörigen Austausch zu schaffen, nicht zuletzt, um die kommende Entwicklung in Harmonie mit der Endkundschaft fortführen zu können.

UMZUG⁶

Um die Ausbauziele erneuerbarer, stromrichterbasierter Erzeugungsanlagen nicht zu gefährden, müssen diese die Netze in allen Situationen stabilisieren. Hierzu soll eine technisch tiefgreifende Analyse anhand der deutschen und europäischen Netzsituation zeigen (siehe Abbildung 3.14), ob und wie das Stromnetz, dominiert von stromrichterbasierten Erzeugern, stabil betrieben werden kann. Dabei werden im vom BMWi geförderten Projekt UMZUG – Netzstabilität durch Momentanreserve in stromrichterdominierten Netzen (Umbruch zwischen stromrichter- und generatorbasiertem Energiesystem) folgende Arbeitsbereiche bearbeitet: Bereitstellung von

⁶von M. Sc. Christian Ziegler

Momentanreserve mittels virtueller Synchronmaschinen (VSM), angepasste Anlagen- und Schutzkonzepte, DC-seitig gekoppelte Speicher, Schwarzstart, Inselbetrieb, Netz- und Marktanalysen und die Erprobung der erarbeiteten Konzepte in einem Reallabor.

Der Lehrstuhl LENA konzentriert sich im Rahmen des Projektes auf eine gesamtheitliche Systemanalyse zur Bereitstellung von Momentanreserve. Dies beinhaltet sowohl technische Aspekte hinsichtlich der Systemstabilität und des Bedarfs an stromrichterbasierten Erzeugungsanlagen mit VSM-Funktionalität als auch ökonomische Aspekte hinsichtlich der Integration dieser VSM-Funktionalität in bestehende Märkte und die Entwicklung neuer Märkte. Aus den Analysen werden im letzten Schritt Handlungsempfehlungen für die Anpassung von Grid Codes abgeleitet.

Das Projekt UMZUG ist am 01.02.2021 gestartet. In den ersten beiden Projektjahren standen der Aufbau einer Simulationsumgebung zur dynamischen Simulation des europäischen Verbundnetzes sowie eine Marktanalyse zur Momentanreserve im Vordergrund. Die Simulationsumgebung beinhaltet eine Abbildung des europäischen Verbundnetzes hinsichtlich des vorhandenen Kraftwerksparks und der Verteilung von Erzeugungsanlagen und Lasten im elektrischen Netz. Um die Stabilität zukünftiger Netze mit einem großem Anteil erneuerbarer Energien zu gewährleisten, müssen auch Wind- und PV-Anlagen zur Netzstabilität beitragen.

Aus diesem Grund werden in dem Projekt Modelle für die VSM-Funktionalität dieser Anlagen entwickelt, wobei sich der Lehrstuhl LENA auf die Windenergieanlagen fokussiert. Im weiteren Verlauf des Projekts werden in verschiedenen Szenarien der benötigte Anteil von erneuerbaren Anlagen mit VSM-Funktionalität ermittelt, um im Fehlerfall genügend Momentanreserve bereitzustellen und das Netz stabil zu halten.

Einen Überblick über den generellen Aufbau des Simulink-Modells gibt die Abbildung 3.14. Weiterhin wurde eine techno-ökonomische Untersuchung von Anlagen durchgeführt, welche die Fähigkeit zur Bereitstellung von Momentanreserve besitzen. In einer anschließenden Marktanalyse wurden die Integration von Momentanreserve in das bestehende Marktsystem als Systemdienstleistung sowie die Entwicklung eines eigenen Marktes untersucht. Im weiteren Verlauf des Projekts werden eine Methodik zur Bedarfsermittlung von Momentanreserve entwickelt sowie technische Anforderungen und Vergütungsmodelle für Momentanreserve ermittelt.

ILEP – Entwicklung einer dynamischen integrierten Last- und Erzeugungsprognose⁷

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 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekt ILEP - Entwicklung einer dynamischen Integrierten Last- und Erzeugungsprognose.

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.

⁷von M. Sc. Christian Klabunde

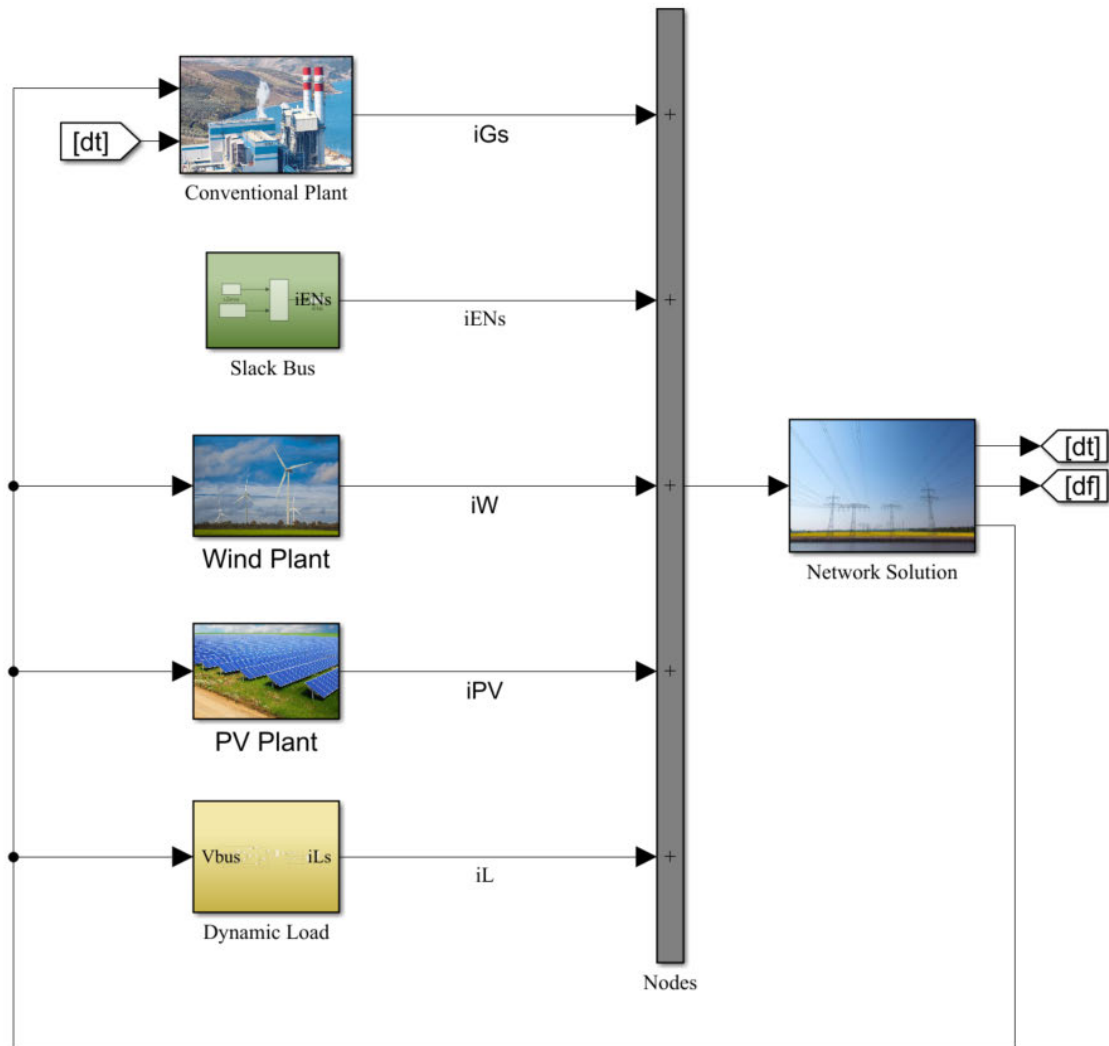


Abbildung 3.14: Schematischer Aufbau des Simulink-Modells für das Projekt UMZUG – Netzstabilität durch Momentanreserve in stromrichterdominierten Netzen (Umbruch zwischen stromrichter- und generatorbasiertem Energiesystem)

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 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.

Innerhalb des Jahres erfolgte der Abschluss des Projektes. Die während der Projektlaufzeit entwickelten Methoden der globalen (regelzonenscharf) und lokalen (umspannungsscharf) Einspeise- und Lastprognose sowie die Speicherprognose (siehe Abbildung 3.15) wurden auf mit allen Projektpartnern abgestimmte Szenarien angewandt und die Ergebnisse in einem Abschlussprojekt zusammengefasst.

Darüber hinaus wurde vom Fraunhofer IFF in Abstimmung mit allen Projektpartnern ein ILEP Demonstrator entwickelt. Dieser präsentiert die Hintergründe hinter den entwickelten Methoden sowie die Ergebnisse bezüglich einzelner Anwendungsfälle in adäquater Weise. Ein Beispiel aus der GUI zeigt die folgende Abbildung.

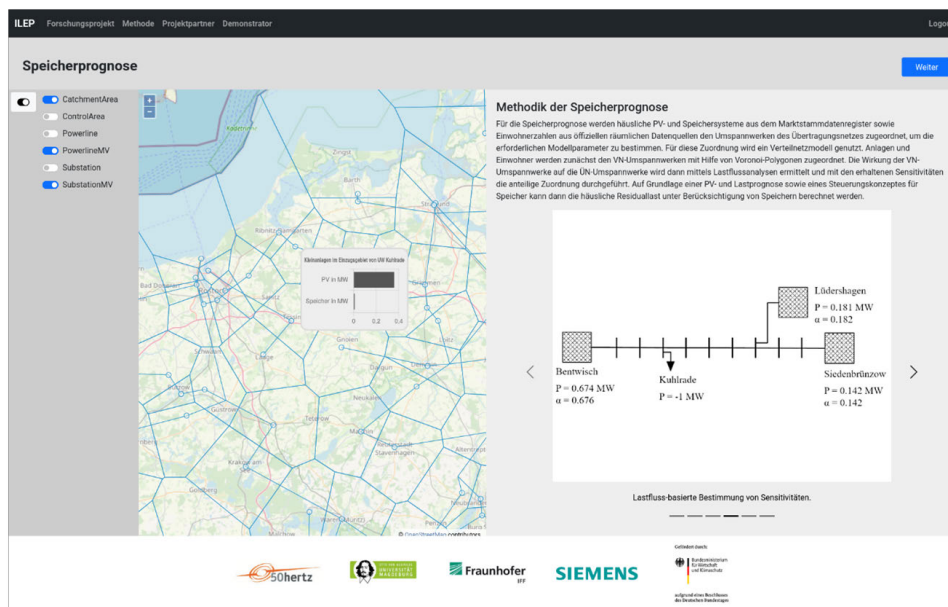


Abbildung 3.15: Grafische Benutzeroberfläche für die Speicherprognose

RE-FLEX – Unitäre reversible PEM-Brennstoffzellen für die flexible Energiespeicherung⁸

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

⁸von M. Sc. Philipp Kühne

von elektrischer Energie wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der erzeugte Wasserstoff kann anschließend gespeichert oder in ein Verteilnetz eingespeist werden (siehe Abbildung 3.16).

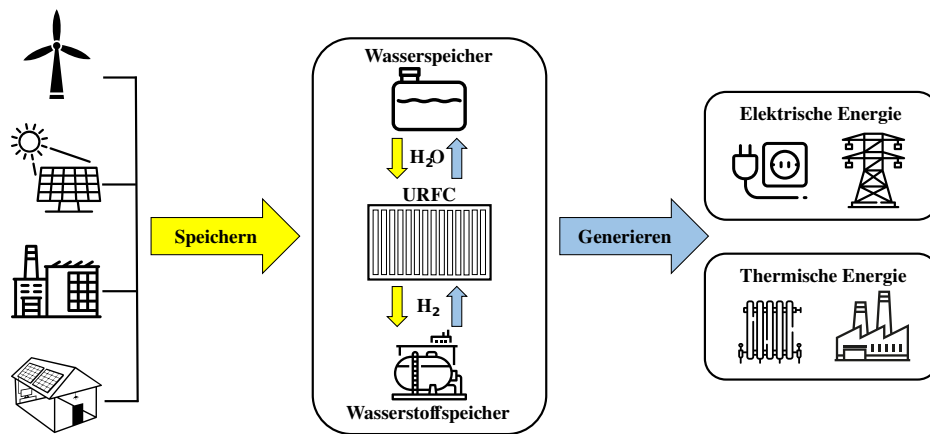


Abbildung 3.16: Funktionsprinzip einer URFC als Zwischenspeicher

Das Verbundvorhaben RE-FLEX wurde durch das BMWi für einen Zeitraum von 3 Jahren und 7 Monaten (Start: 11/2018) gefördert. Innerhalb der ersten beiden Projektjahre, wurden verschiedene Konzepte und Betriebsführungsstrategien für den Teststand erarbeitet und bewertet. Weiterhin wurden geeignete Komponenten für den Aufbau des URFC-Stacks identifiziert und innerhalb umfangreicher Einzelzellentests in Hinblick auf ihren Einsatzzweck im Teststand validiert und optimiert. Die Ergebnisse konnten genutzt werden, um abgestimmte Komponenten für die Gas-Diffusionslagen, für die Bipolarplatten bzw. Flowfields und die Membran-Elektrodeneinheit zu entwickeln. Auf Grundlage dessen wurde im späteren Projektverlauf ein fünfzelliger URFC-Stack (siehe Abbildung 3.17) entworfen und aufgebaut.

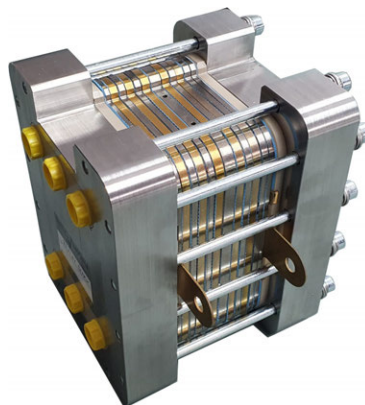


Abbildung 3.17: Entwickelter URFC Stack als 5-Zeller

Nach Finalisierung des endgültigen Anlagenkonzeptes und Beginn der Beschaffung bzw. des Aufbaus der Teilkomponenten, wurde der Teststand (siehe Abbildung 3.18) und der zu untersuchende URFC-Stack aufgebaut. Die umfangreiche installierte Sensorik und die verschiedenen Regel- und Einstellungsmöglichkeiten erlauben es, den URFC Stack umfangreich zu untersuchen und zu bewerten. Der Teststand beinhaltet zwei Speichermodule, welche auf Grundlage eines Metallhydrids bei geringem Druck (6 bar) bis zu 800 Nl Wasserstoff vorhalten können. Damit ist das System in der Lage ohne externe Wasserstoffzufuhr Lade- und Entladezyklen durchzuführen.

Der notwendige Druck für den Speicherprozess wird während der Elektrolyse chemisch erzeugt

und über parallel gesteuerte Proportionalventile auf beiden Zellkammern dynamisch auf das gewünschte Druckniveau gehalten. Im Elektrolysebetrieb steigt der Druck auf der Wasserstoffseite stärker an als auf der Sauerstoffseite. Mit dieser Anordnung wird eine mechanische Belastung der Membran aufgrund der entstehenden Druckdifferenz verhindert. Ein weiterer Schwerpunkt war die Versorgung mit druckerhöhtem Elektrolysewasser während des Betriebs. Dazu wurde ein Konzept mit einer verschleißarmen, pulsationsfreien Zahnradpumpe in Verbindung mit einem hochgenauen Massendurchflussmesser für Minimaldurchflussmengen auf Grundlage des Coriolis-Effektes entwickelt.



Abbildung 3.18: Teststand für die Untersuchung des URFC-Stacks

Nachdem alle Komponenten integriert und die Verbindungen, die Steuerungselektronik und die Programmierung der SPS bzw. des Userinterfaces abgeschlossen waren, wurde der Teststand in Betrieb genommen. Dazu wurden im ersten Schritt Dichtheitsprüfungen aller Verbindungselemente und Rohrleitungen durchgeführt. Anschließend wurden die Regelstrecken mit Hilfe von aufgenommenen Sprungantworten kalibriert und auf die auszuführenden Betriebsstrategien angepasst.

Nach Abschluss der Kalibrierung und Anpassung der Regelparameter, wurde der reversible Brennstoffzellenstack aus den Einzelkomponenten verpresst und in die Medienkreisläufe des Teststandes integriert. Anschließend wurde eine mehrstündige Einfahrprozedur zur Aktivierung der aktiven Membranoberfläche für die Brennstoffzellen- und anschließend noch einmal für die Elektrolysefunktion durchgeführt. Dem folgte die Aufnahme der Begin-of-Life-Kurven, anhand derer die spätere Degradation bewertet werden sollte. Anschließend wurden eine Reihe von Polarisationskurven unter verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen, um die optimalen Arbeitspunkte des reversiblen Brennstoffzellenstacks zu identifizieren.

Es konnte gezeigt werden, dass die zuvor in den Einzelzellentests ermittelte Leistungsperformance ebenfalls im Zellenstack erreicht werden konnte. Dabei wurde nachgewiesen, dass sowohl die Brennstoffzellen- als auch die Elektrolysefunktion stabil verläuft. Letztere konnte dabei allerdings eine deutlich höhere Leistungsdichte erreichen. Weiterhin wurde gezeigt, dass der erzeugte Wasserstoff auf ein ausreichend hohem Druckniveau produziert werden kann, um in die im Teststand-System integrierten Metallhydrid-Flaschen, ohne zusätzliche Druckerhöhungsstufe, eingespeichert zu werden. Der Wechsel zwischen den beiden Betriebsmodi konnte ohne weiteres, nach kurzer Spülphase, durchgeführt werden. Die Untersuchung der Effizienz beider Betriebsrichtungen konnte zudem zeigen, dass der elektrische Wirkungsgrad des reversiblen Brennstoffzellenstacks vergleichbar mit denen von dedizierten Systemen ist.

Das Verbundprojekt RE-FLEX konnte somit zu einem erfolgreichen Abschluss geführt werden. Das entwickelte Gesamtsystem konnte beweisen, dass es für den Einsatz als flexibler und effizienter

Energiespeicher geeignet ist. Zurzeit werden noch weiterführende Untersuchungen zur Degradationsanalyse und Betriebsoptimierung durchgeführt. Die Skalierung des Gesamtsystems in eine praxisorientiertere Leistungsklasse, soll in einem potentiellen Folgeprojekt realisiert werden.

Low Cost Teilentladungsmessung⁹

Innerhalb der letzten drei Jahre (01.07.2019 bis 30.06.2022) wurde von wissenschaftlichen Mitarbeitern des LENA Lehrstuhls das Forschungsprojekt Low Cost Teilentladungsmessung in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für technische Thermodynamik bearbeitet. Das Projekt hat sich der Entwicklung kostengünstiger Teilentladungssensoren zur Online-Überwachung elektrischer Energiekabel gewidmet. Entspricht der Zustand eines Energiekabels nicht mehr den notwendigen Anforderungen treten im Vorfeld eines Totalausfalls zuerst minimale Stromimpulse, sogenannte Teilentladungen auf, welche mit einem geeigneten Sensor gemessen werden können. Auf diese Weise kann ein drohender Kabeldefekt rechtzeitig erkannt, proaktiv verhindert und somit Versorgungsausfälle und mögliche Gefahrensituationen im Zusammenhang mit dem Kabeldurchschlag vermieden werden. Stand heute ist jedoch kein solcher Teilentladungssensor am Markt erhältlich, welcher günstig und somit in der Breite verfügbar wäre. Das Ziel dieses Projektes ist daher die Entwicklung eines solchen sowohl preiswerten als auch möglichst sensitiven Teilentladungssensors für Energiekabel. Während der letzten Projektjahre wurde an dieser Aufgabe intensiv gearbeitet und zahlreiche Ergebnisse entwickelt. Die Ausbreitung und Dämpfung von Teilentladungssignalen auf Energiekabeln wurde zuerst simulativ untersucht, um konkrete Anforderungen an den Sensor definieren zu können. Anschließend wurde ein geeignetes Sensordesign ausgewählt und entsprechend der zuvor aufgestellten Anforderungen optimiert. Der entstandene Teilentladungssensor arbeitet induktiv nach dem Stromwandlerprinzip, ist für die Bandbreite von Teilentladungssignalen optimiert und zur Onlinemessung an Energiekabeln geeignet, das heißt resistent gegenüber magnetischer Kernsättigung. Die Kosten des Prototyps sind unter hundert Euro und somit sehr günstig. Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist jedoch nach wie vor gegeben, sodass ein Nachfolgeprojekt geplant ist. Insbesondere die Weiterentwicklung von Sensorhardware und -software weg von reinen Laborbedingungen und hin zu einer praxistauglichen Lösung erfordern weitere Bemühungen. Forschungen im Bereich der Teilentladungsmessung bleiben auch in Zukunft von Relevanz. Das Projekt kann rückblickend als erfolgreich bewertet werden, nicht zuletzt auch wegen zahlreicher entstandener Veröffentlichungen, welche auch im Rahmen einer Dissertation weiter verwertet werden.

IZI – Innovative Investitionsplanung zur intelligenten ökonomisch, ökologischen Prosumer- und Netzoptimierung¹⁰

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 Strom-Erzeugungs- 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.

⁹von M. Sc. Martin Fritsch

¹⁰von M. Sc. Christian Rinne

Dabei soll eine Praxis-optimale 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 $\frac{1}{4}$ h betrachtet werden.

Im aktuellen Projektstand wurden Messpartner gefunden und sowohl Strom- als auch Wärmemessgeräte mit einer sekundlichen Auflösung installiert. Die Messungen werden dabei für mindestens ein Jahr durchgeführt und zeigen das Verbrauchsverhalten der EFH-, MFH- und KMU-Besitzer, welche im nächsten Schritt in der Optimierung verwendet werden. In Abbildung 3.19 werden exemplarisch erste Messdaten vorgestellt, welche bereits bei eine Wohnungsbaugenossenschaft in Magdeburg für ein weiteres Projekt im Rahmen der Sektorenkopplung und Elektromobilität eingesetzt werden konnten. Die Softwareentwicklung wurde nahezu fertiggestellt und eine Datenbank der Daten erstellt. Eine Veröffentlichung der Datenbank wird zum Beginn des Jahres 2023 umgesetzt.

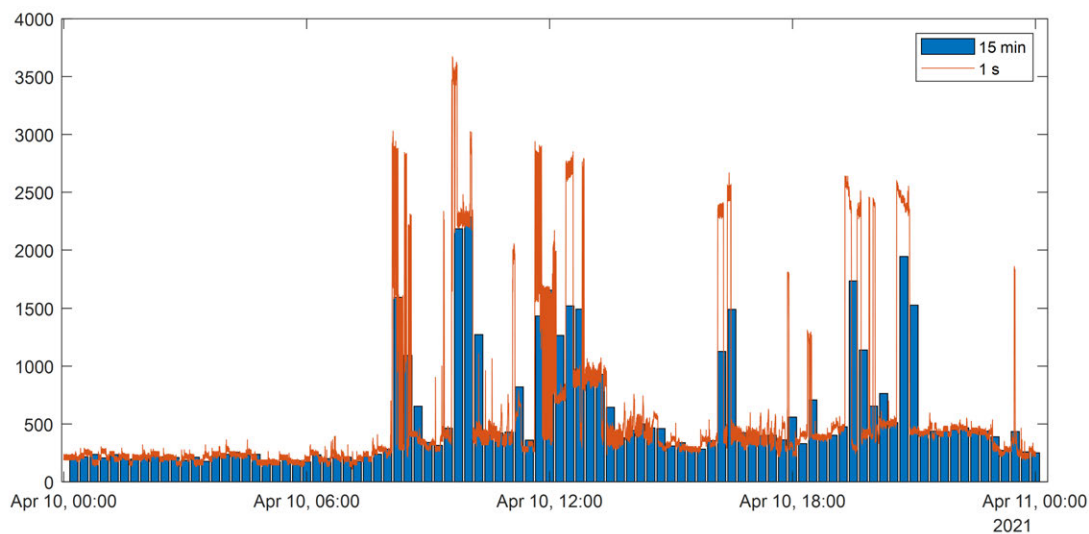


Abbildung 3.19: 4-Personenhaushalt, exemplarische Leistungsmesswerte in W als Sekundenwerte und 15 min-Mittelwert

GridBatt¹¹

Ziel des Projekts GridBatt ist es, die besonderen Anforderungen von netzstabilisierenden Dienstleistungen herauszuarbeiten, um eine optimale Zelltechnologie bezogen auf die Anwendung einzusetzen und somit die Betriebsführung sowie –kosten zu optimieren. Nur eine ganzheitliche Betrachtung von der Zellchemie über den Wechselrichter hin zu Systemanforderungen bzw. den Einsatzzweck ermöglicht die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen Netz und Batterie. Besonders dynamische Anforderungen, die typischerweise eine hohe Leistung bei kleinem Energiedurchsatz sowie eine hoher Fluktuation erfordern, weisen bei den aktuellen verwendeten Zelltechnologien ein Defizit technischer Lösungen auf. Vielversprechend sind die Ansätze der Aluminium-Ionen-Batterie (AIB) mit Aluminium und Graphit als Elektrodenmaterial, für die Energiedichten im Bereich von $50 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$ bis $60 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$ erreicht werden. Darüber hinaus wurde bei einer Laderate von 100 C eine Zyklenstabilität von 500 000 Zyklen erreicht.

Eingangs wurden die Anforderungen von Anwendungen für Batteriespeicher im elektrischen Netz betrachtet und kategorisiert. Parallel erfolgte die Modellierung einer dynamischen Netzberechnung,

¹¹von M. Sc. Sebastian Helm

um den Einfluss der AIB und eines leistungsoptimierten Umrichtermodells nachzubilden. Der Lehrstuhl für Leistungselektronik entwarf das Umrichtermodell, mit der Steuerung einer virtuellen Synchronmaschine (VISMA), um die Einsatzmöglichkeit der Erbringung von Momentanreserve umzusetzen. Ziel ist es, den Vorteil der AIB durch die Fähigkeit der hohen Leistungsabgabe darzustellen.

Die TU Clausthal erarbeitet ein angepasstes Simulationsmodell speziell für die AIB, um die Eigenschaften nachbilden zu können. Das Fraunhofer Institut in Freiberg entwickelte einen geeigneten Prototyp für die AIB-Zelle im Pouch-Format und stellt diese der TU Clausthal für Messungen hinsichtlich der Erstellung des Simulationsmodells zur Verfügung.

EMo4GS¹²

Das Projekt EMo4GS wurde in diesem Jahr abgeschlossen. Ziel der Projektpartner Fraunhofer IFF und Krebs'engineers war es, ein Produkt zur Umsetzung von Vehicle-for-Grid (V4G)-Anwendungen zu entwickeln. Die Aufgabe des LENA bestand in der Berechnung des elektrischen Niederspannungsnetzes mit Hilfe einer unsymmetrischen Lastflussberechnung. Bei der Implementierung der Durchdringung von Erneuerbaren Energien sowie der Elektromobilität stand das unsymmetrische Verhalten im Fokus. Im Anschluss wurde der Einfluss von einphasig angeschlossenen Verbraucher auf das Niederspannungsnetz betrachtet und die Ausbreitung der Unsymmetrie bewertet. Es wurden netzstützende Algorithmen entwickelt, um das Speicherpotenzial in den Elektrofahrzeugen, im Sinne von V4G einzusetzen. Dabei wurden lokale (E-Kfz agiert eigenständig ohne Verwendung von Netzdaten) und zentrale (E-Kfz wird durch Leitwarte gesteuert) Ansätze betrachtet. Auf Grundlage der Optimierungsansätze konnten Betriebsstrategien abgeleitet und in Kooperation mit dem Fraunhofer IFF und den Krebs'engineers GmbH eine Ladeinfrastruktur mit der nötigen Kommunikationstechnik, zur Umsetzung der entworfenen Algorithmen, ausgerüstet werden. Die Validierung fand im Rahmen eines Feldtests in der ExFa statt. Zur Validierung weiterer entwickelter Methoden, wurde ein Smart Home Demonstrator aufgebaut, um Vehicle-to-Home-Ansätze im Feld testen zu können und die Produktentwicklung abzuschließen.

QUEST-IES (Integrated Quasi-Steady-State Energy Flow Algorithms and Flow Distribution Factors for Future Integrated Energy Systems)¹³

Der zunehmende Anteil volatiler erneuerbarer Energien in der Stromversorgung, das Abschalten konventioneller Kraftwerke und fehlende Stromleitungen führen zu großen Herausforderungen im Stromnetz. Immer häufiger fehlt dem Netz Flexibilität, was in eine Gefährdung der Netzstabilität mündet. Zur Erhöhung der Flexibilität wird häufig das integrierte Energiesystem (IES, hier: Strom, Gas, Wärme) als Lösung gesehen. Jedoch führt die Kopplung der Netze zu Wechselwirkungen im Netzbetrieb. So wirkt sich eine Änderung in einem Netz auf andere Netze aus. Werden solche Systeme unabhängig voneinander betrieben, wie es heute der Fall ist, und sind die Auswirkungen einer Änderung in einem Netz für das Gesamtsystem nicht bekannt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Gefährdungen der Netzstabilität nur zwischen den Netzen verschoben werden. Deshalb ist es erforderlich den Einfluss von Anlagen auf die Lastflüsse im gesamten IES detailliert zu analysieren. Hierfür ist eine geeignete Methodik zur Bestimmung der Auswirkungen einzelner Anlagen auf alle Energieflüsse im IES notwendig.

Methoden, die den Einfluss einer Leistungsänderung auf die Lastflüsse bestimmen, gibt es jedoch nur für das Stromnetz (hier: Sensitivitäten). Diese basieren auf Lastflussalgorithmen.

¹²von M. Sc. Sebastian Helm

¹³von M. Sc. Jonte Dancker

Somit existiert keine Methodik, die den Einfluss von Anlagen auf das IES bestimmt und somit den Anforderungen zukünftiger IES entspricht. Deshalb wird in diesem Projekt eine Methodik entwickelt, die auf dem Ansatz der Sensitivitäten aufbaut und diesen für das gesamte IES erweitert.

Im Zuge dessen müssen vorhandene integrierte Strom-, Gas- und Wärmefluss-Algorithmen erweitert werden, sodass in diesem von der DFG geförderten Projekt folgende vier Punkte in den nächsten drei Jahren bearbeitet werden. Erstens, der Algorithmus wird um das transiente Verhalten des Gas- und Wärmenetzes erweitert. Zweitens, Power-to-X-Technologien (z. B. Wärmepumpe, Elektrolyseur) werden integriert. Drittens, im Gasfluss-Algorithmus wird eine Wasserstoffeinspeisung ermöglicht, sodass variable Brennwerte im Gasnetz betrachtet werden können. Viertens basierend auf dem integrierten Lastfluss-Algorithmus wird die Methodik entwickelt, mit der die Sensitivitäten des IES abgeleitet werden können.

Daraus folgt, dass das Projekt einen Algorithmus bereitstellt, der eine umfassende und flexible Lösung für die Analyse zukünftiger IES ermöglicht. Des Weiteren wird der Ansatz der Sensitivitäten weiterentwickelt, sodass dieser in den gleichen Anwendungsfällen jedoch für ein IES eingesetzt werden kann.

PROGRESS¹⁴

Im Projekt PROGRESS werden kurative Maßnahmen zur Entlastung in Höchst- und Hochspannungsnetzen (HöS/HS) erprobt. Kurative Maßnahmen entsprechen hierbei einer reaktiven Anpassung von Aktoren im Netz zur gezielten Beeinflussung von Spannungen und Strömen nach dem tatsächlichen Eintritt eines Fehlers. Das bestehende Netz kann somit höher und effizienter ausgelastet und der Anteil präventiver Engpassmanagementmaßnahmen reduziert werden. Ein Einsatz kurativ entlastend wirkender Maßnahmen mittels Systemautomatiken erfordert eine umfassende Analyse und Erweiterung der bestehenden Systemarchitektur auf Netzleitebene, Stationsleitebene und im Feld (siehe Abbildung 3.20).

Zudem ist die Verknüpfung der Netzbetriebsführung mit betriebsplanerischen Prozessen sowie die Koordination zwischen Übertragungs- und Verteilnetzbetreibern zu beachten. Der Forschungsbedarf ergibt sich aus den Anforderungen an einen sicheren, effizienten und netzbetreiberübergreifenden Einsatz kurativer Maßnahmen. In diesem Projekt werden daher relevante soft- und hardwaretechnischen Komponenten der elektrischen Energieübertragung und -verteilung in HöS- und HS-Ebene analysiert, entsprechende Funktionsmuster zur Umsetzung kurativer Maßnahmen entwickelt und vor dem Hintergrund der netzbetreiberübergreifenden Koordination in prototypische Anwendungen überführt.

Unter Beteiligung eines Leitsystemherstellers, Übertragungs- und Verteilnetzbetreibern sowie akademischen Partnern wird die Umsetzung kurativer Maßnahmen innerhalb von Feldtestvorhaben in realen Leitsystemumgebungen erprobt. Zusätzlich erfolgt eine analytische Begleitung dieser praxisnahen Erprobung. Neben der kommunikationstechnischen Realisierung von Signalketten, der Berücksichtigung von stationären und dynamischen Netzsicherheitsrechnungen, der Adressierung neuer Verfahren zur Netzzustandserfassung sowie Grenzwertbestimmung im online Betrieb wird die Koordination zwischen ÜNB/ÜNB und ÜNB/VNB fokussiert.

LENA untersucht in diesem Projekt, neben der Erprobung kurativer Maßnahmen, die Erweiterung der konventionellen Netz-Zustandsabschätzung zu einer hybriden Netz-Zustandserfassung durch Verwendung von modernen Messgeräten. Die Phasor Measurement Units (PMU) messen dabei Spannungswerte im Millisekunden-Bereich und versieht diese mit einem GPS-Zeitstempel, wodurch eine Zeigerdarstellung möglich ist. Diese verbesserte Zustandsabschätzung unterstützt

¹⁴von M. Sc. Eric Glende

wied
Echt
geko

l der
isch

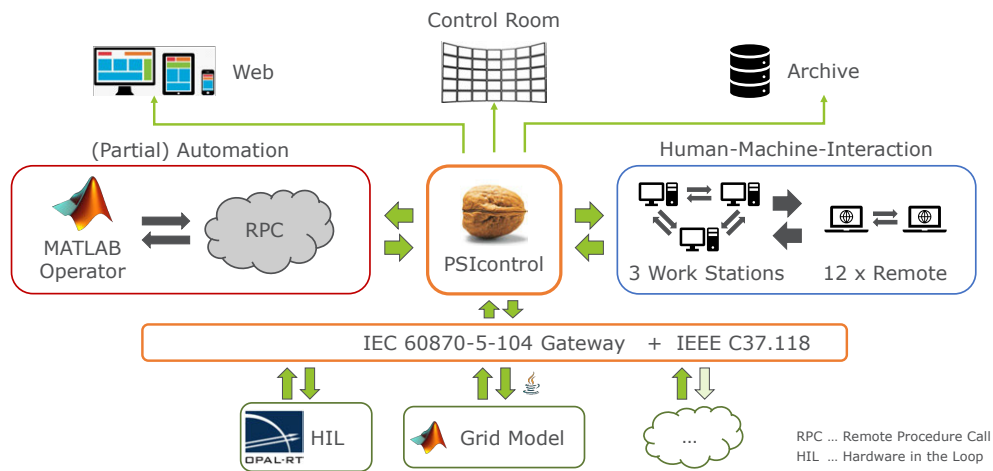


Abbildung 3.20: PROGRESS-Schema

3.2.3 Promotionen

Dr.-Ing. Mahmood Gholizadeh: Cost-Optimized Renewable Energy Integration Roadmap for the Iranian Power System

Gutachter:

- Prof. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Maik Koch, Hochschule Magdeburg-Stendal
- Prof. Abdolkarim Sadrieh, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

verteidigt am 11. Februar 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.21)



Abbildung 3.21: Gratulation an Mahmood Gholizadeh am Otto-von-Guericke-Denkmal

Heutzutage wird die globale Erwärmung als das Hauptproblem der Erde angesehen. Die Technologie der erneuerbaren Energien und ihre Vorteile bei der Abschwächung des Problems der globalen Erwärmung machen diese Energiequellen bei Regierungen und Elektrizitätsunternehmen beliebt. Neben ihrer Verfügbarkeit (z. B. Sonnen- und Windenergie) haben erneuerbare Energiequellen noch viele andere Vorteile. Allerdings werden sie in verschiedenen Bereichen unterschiedlich genutzt. Um die Unsicherheitsprobleme der erneuerbaren Energiequellen zu überwinden, können sie in einem hybriden Energiesystem (HPS) mit Speichermöglichkeiten und konventioneller Stromversorgung kombiniert werden, um die Nachfrage zu decken.

In letzter Zeit haben Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien aufgrund ihrer Vorteile, wie z. B. der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und der Verringerung der CO₂-Emissionen, stark an Attraktivität gewonnen. Um die Entscheidungsfindung zu verbessern, sollten bei der optimalen Gestaltung eines hybriden erneuerbaren Energiesystems neben wirtschaftlichen Kriterien auch technische und ökologische Kriterien berücksichtigt werden. Im 21. Jahrhundert haben sich erneuerbare Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft als Alternativen zu fossilen Brennstoffen entwickelt. In der vorhandenen wissenschaftlichen Literatur, die sich mit der Optimierung der hybriden Energieversorgung beschäftigt, haben nur wenige die Optimierung der Kosten für grüne Energie auf der Grundlage der Anfangskosten untersucht.

Dieser wichtige Teil des Optimierungsproblems wird in dieser Dissertation behandelt; daher zielt diese Studie auf die Optimierung der Kosten für erneuerbare Energien auf der Grundlage der Anfangskosten im Iran ab. Das Optimierungsproblem wurde in eine lineare Form mit Ungleichheitsrestriktionen gebracht. Das untersuchte Khorasan-Stromnetz befindet sich im östlichen Teil des Iran. Durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien (siehe Abbildung 3.22) und die Optimierung ihrer Anfangs- und Ersatzkosten kann auch der Einsatz anderer Ressourcen wie Diesel oder Gas verringert werden. Dies kann zur Verringerung der CO₂-Emissionen beitragen und viele Vorteile mit sich bringen.

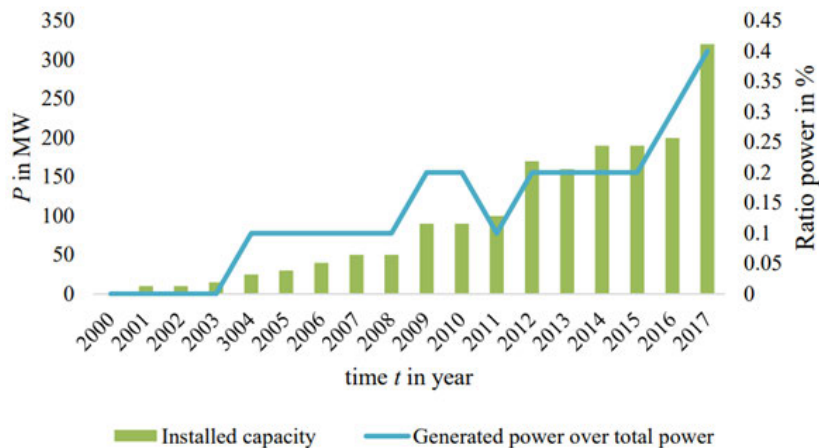


Abbildung 3.22: Entwicklung der erneuerbaren Energien im Iran

In dieser Arbeit wurde mit Hilfe des linearen Optimierungsansatzes versucht, ein Hybridsystem zu entwerfen, das aufgrund der besonderen geografischen Bedingungen im Iran die Bedürfnisse von drei Gebieten erfüllt. Insbesondere in der Region Khorasan wurden zwei wichtige erneuerbare Energiequellen, darunter Photovoltaik und Windkraft (integriert mit Dieselgeneratoren und Batterien), zur Untersuchung und Minimierung der Kosten verwendet. Bei der genannten Methode werden die Durchschnittsdaten eines Jahres verwendet, um die stündliche Ausgangsleistung von Windturbine, Photovoltaik und Dieselgenerator während des Jahres zu berechnen. Dann wurden verschiedene Kombinationen von erneuerbaren Energiequellen vorgeschlagen, um den stündlichen

Bedarf während des Jahres zu decken. Das beste Design ist dasjenige, das die gewünschte Verlustleistung, die minimalen CO₂-Emissionen und die minimalen Kosten erfüllt.

Dr.-Ing. Muhammad Tayyab: Holistic Approach for Microgrid Planning and Operation for E-Mobility Infrastructure Under Consideration of Multi-Type Uncertainties

Gutachter-/innen:

- Jun.-Prof. Ines Hauer, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Luciane Neves Canha, Federal University of Santa Maria

verteidigt am 31. August 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.23)



Abbildung 3.23: Gratulation an Muhammad Tayyab am Otto-von-Guericke-Denkmal

Die Integration erneuerbarer Energiequellen in Sektoren wie Strom, Wärme und Verkehr muss auf wirtschaftliche, technologische und emissionsarme Weise strukturiert werden, um globale Umweltprobleme anzugehen. Micro Grids scheinen die Lösung für eine groß angelegte Integration erneuerbarer Energien in diesen Sektoren zu sein. Die Micro-Grid-Komponenten müssen optimal geplant und betrieben werden, um hohe Kosten, technische Probleme und Emissionen zu vermeiden. Bestehende Ansätze für optimale Planung und Betrieb in der Literatur beinhalten keine Lösung für E-Mobilitätsinfrastrukturen.

Daher wird eine kompakte E-Mobilitätsinfrastruktur-Methodik vorgestellt. Die vorgeschlagene Methode umfasst einen Retropolationsansatz für die Planung der stetig steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen, eine Monte-Carlo-Simulation für das Verhalten von Elektrofahrzeugen, die Anzahl von öffentlicher Ladeinfrastrukturen auf Basis der Belegungszeit und die Platzierung öffentlicher Ladeinfrastrukturen auf der Grundlage einer Monte-Carlo-Simulation. Dezentrale Erzeugungsanlagen und E-Mobilitätsinfrastruktur verursachen technische Probleme bei der Planung und dem Betrieb von Micro Grids, wie z. B. Spannungsprobleme. Die oben genannten technischen Methoden und Parameter werden verwendet, um einen deterministischen Ansatz für die Planung und den Betrieb von Micro Grids für E-Mobilitätsinfrastruktur zu entwickeln.

Feste und flexible Tarife werden verwendet, um die deterministische Mikronetzplanung und den Betrieb zu bewerten. Darüber hinaus ist die Entwicklung der E-Mobilitätsinfrastruktur mit Unsicherheiten (kurz- und langfristig) behaftet. Aus diesem Grund wird in dieser Dissertation eine neue stochastische Methode namens IGDM-DRO vorgeschlagen. Die vorgeschlagene Methode

bietet eine risikoaverse Strategie für die Planung und den Betrieb von Micro Grids, indem sie langfristige und kurzfristige Unsicherheiten im Zusammenhang mit der E-Mobilität berücksichtigt. Die Multi-Cut-Bender-Zerlegung wird für IGDM-DRO angewandt, um die Unlösbarkeit der vorgeschlagenen Methode zu verhindern. Schließlich werden die deterministischen und stochastischen Methoden in einem neuartigen ganzheitlichen Ansatz für die Planung und den Betrieb von Micro Grids in Bezug auf Kosten und Robustheit kombiniert.

Die vorgeschlagene Methode wird in einem neuen Siedlungsgebiet in Magdeburg, Deutschland, unter drei verschiedenen EV-Entwicklungsszenarien (negativ, Trend und positiv) getestet. Die Anzahl der Elektrofahrzeuge erreichte bis zum Ende des Planungshorizonts 31 % der konventionellen Fahrzeuge. Infolgedessen sind die Gesamtkosten des Micro Grids um 2,3 % bis 2,9 % Prozent pro Elektrofahrzeug gestiegen. Im Trend 2031 werden im untersuchten Siedlungsgebiet drei öffentliche Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge benötigt.

Für das untersuchte Siedlungsgebiet werden im Trendszenario Gesamtkosten von 127 029 € berechnet. Um die volle Robustheit gegenüber langfristigen Unsicherheiten zu erreichen, müssen die Kosten für das Micro Grid um 80 Prozent erhöht werden. Wird das Konfidenzniveau durch Einbeziehung der kurzfristigen Unsicherheit auf 96 % gesenkt, ergibt sich eine Robustheit von etwa 60 %. Bei einer Robustheit des zulässigen Budgets von 80 % und einem Konfidenzniveau von 96 % sind die Kosten um 66,7 % im Vergleich zum deterministischen Ansatz im Trendszenario 2031 erhöht (siehe Abbildung 3.24).

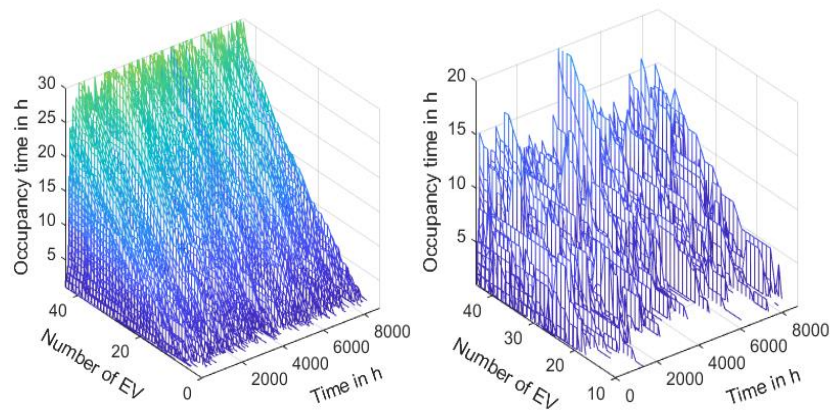


Figure: Occupancy time for EVCS=1 (left side) and EVCS=2 (right side)

Abbildung 3.24: Belegungszeit für verschiedenen EV-Entwicklungsszenarien

Dr.-Ing. Jonte Dancker: Sensitivity Factors for Integrated Energy Systems: A Joined Quasi-Steady-State Approach

Gutachter:

- Prof. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Markus Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal

verteidigt am 20. Juni 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.25)

Integrierte Energiesysteme können die Nutzung volatiler erneuerbarer Energieerzeugung erhöhen und die Betriebskosten im Stromnetz senken, da Energie zwischen Netzinfrastrukturen verschoben und die Netzspeicherfähigkeit von Fernwärme- und Gasnetzen nutzbar gemacht werden können. Doch je stärker die verschiedenen Energiesysteme miteinander gekoppelt sind, desto komplexer



Abbildung 3.25: Gratulation an Jonte Dancker vor dem Siemensgebäude der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

wird ihr Betrieb. Um einen sicheren Netzbetrieb eines integrierten Energiesystems zu gewährleisten, müssen die Wechselwirkungen und Netzspeichereffekte analysiert werden (siehe Abbildung 3.26).

Bestehende Leistungsflussberechnungen für integrierte Energiesysteme vernachlässigen jedoch die Netzspeichereffekte, die sich aus dem dynamischen Verhalten des Fernwärme- und Gasnetzes ergeben. Bestehende Methoden bilden das dynamische Verhalten nur ab, wenn die einzelnen Energiesysteme getrennt voneinander berechnet werden. Sie erlauben somit keine direkte Analyse des dynamischen Verhaltens und der Wechselwirkungen in einem integrierten Energiesystem. Dies führt dazu, dass eine rechenintensive Leistungsflussberechnung durchgeführt werden muss, wenn die Auswirkungen einer Leistungsänderung einer Anlage auf die Leistungsflüsse analysiert werden sollen.

Um den Rechenaufwand zu reduzieren werden in dieser Arbeit Sensitivitätsfaktoren abgeleitet, um den Systemzustand eines integrierten Energiesystems nach einer Leistungsänderung abzuschätzen. Die Sensitivitätsfaktoren werden aus einer gekoppelten, quasi-stationäre Leistungsflussberechnung für integrierte Energiesysteme abgeleitet. In dieser wird der Systemzustand des Strom-, Fernwärme- und Gasnetzes gleichzeitig bestimmt, wodurch die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Energiesystemen direkt dargestellt werden. Das dynamische Verhalten wird durch eine Gradientenmethode, die Temperatur- und Brennwertänderungen verfolgt, berücksichtigt.

Die Gradientenmethode kann das dynamische Verhalten selbst bei Simulationszeitschrittweiten von bis zu 60 min genau abbilden. Da im Vergleich zu bestehenden Verfahren größere Simulationszeitschritte gewählt werden können um die gleiche Genauigkeit zu erreichen, kann die Rechenzeit reduziert werden. Die Sensitivitätsfaktoren können einen neuen Systemzustand nach einer Leistungsänderung einer Anlage im Durchschnitt zehnmal schneller abschätzen als eine Leistungsflussberechnung. Darüber hinaus können sie angesichts der Komplexität der Wechselwirkungen und des dynamischen Verhaltens in einem integrierten Energiesystem gute Schätzungen liefern.

Da die quasi-stationäre Leistungsflussberechnung auf stationären Ansätzen basiert, können bestehende Anwendungsfälle leicht um das volle Potenzial von integrierten Energiesystemen erweitert werden. Somit bietet diese Arbeit Netzbetreibern eine Methode zur genauen Analyse der Wechselwirkungen in integrierten Energiesystemen.

3.2.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] M. Fritsch und M. Wolter, „Measurable Bandwidth of Partial Discharges on Medium Voltage Cables“, in *2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2021, S. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM46819.2021.9637820.
- [2] M. Fritsch und M. Wolter, „High-Frequency Current Transformer Design and Construction Guide“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Jg. 71, S. 1–9, 2022. DOI: 10.1109/TIM.2022.3177189.
- [3] M. Fritsch und M. Wolter, „An Alternative Method for Dealing with Saturation in High-Frequency Current Transformers“, in *2022 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON)*, 2022, S. 1–5. DOI: 10.1109/POWERCON53406.2022.9930060.
- [4] J. Dancker und M. Wolter, „A Joined Quasi-Steady-State Power Flow Calculation for Integrated Energy Systems“, *IEEE Access*, Jg. 10, S. 33 586–33 601, 2022, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3161961.
- [5] J. Dancker und M. Wolter, „A coupled transient gas flow calculation with a simultaneous calorific-value-gradient improved hydrogen tracking“, *Applied Energy*, Jg. 316, S. 118 967, 2022, ISSN: 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.118967.

Dissertationen und Bücher

- [1] M. Gholizadeh, *Cost-optimized renewable energy integration roadmap for the Iranian power system*. Magdeburg, 2022.
- [2] J. Dancker, *Sensitivity factors for integrated energy systems: a joined quasi-steady-state approach* (Res electricae Magdeburgenses Band 91). Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2022. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2022-81. Adresse: <https://opendata.uni-halle.de/handle/1981185920/90138>.
- [3] M. Tayyab, *Holistic approach for microgrid planning and operation for e-mobility infrastructure under consideration of multi-type uncertainties* (Res electricae Magdeburgenses Band 92). Magdeburg: Universitätsbibliothek, 2022, ISBN: 978-3-948749-25-5. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2022-084.

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, sowie
- 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 Fokus. 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 sind die EMV automatisierter Elektroantriebe und die EMV im Kfz relevante 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 beschäftigen sich die Arbeiten nicht nur mit der EMV von medizintechnischen Produkten, 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 Medizintechnik-Forschungscampus STIMULATE 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

Konstruktion eines Messadapters zur Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften von Tonproben¹⁵

Im Projekt soll ein Messadapter entwickelt und konstruiert werden, mit dem die dielektrischen Eigenschaften von Tonproben, insbesondere deren komplexwertige Permittivität und der Verlustwinkel, im Frequenzbereich bis zu einigen Gigahertz genauer untersucht werden können. Dazu soll eine koaxiale Anordnung entworfen werden, die eine Zweitor-Streuparameter-Messung mit einem Vektornetzwerkanalysator ermöglicht. Die koaxiale Anordnung soll dabei im leeren Zustand einen Wellenwiderstand von etwa 50Ω aufweisen, der in der Hochfrequenzmesstechnik üblich ist. Aus der Änderung der gemessenen Reflexions- und Transmissionskoeffizienten der mit Tonproben gefüllten Anordnung soll dann auf die Eigenschaften der Proben geschlossen werden. Ebenso soll die Eignung Wellenleiter mit rechteckigen Querschnitt für solche Messaufgaben untersucht werden (siehe Abbildung 3.27).

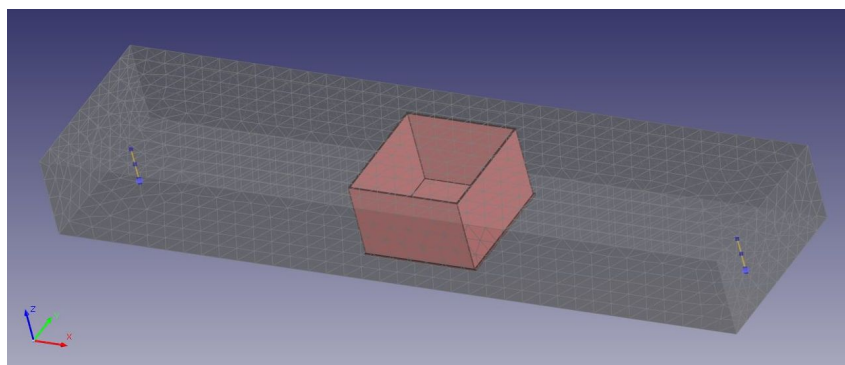


Abbildung 3.27: Hochfrequenz-Wellenleiter mit Monopoleinspeisung zur Messung der dielektrischen Eigenschaften einer Probe (Bildquelle: Akshat Parasher)

Übertragung von Emissionsmessungen in der Modenverwirbelungskammer in die Magnetresonanztomografie¹⁶

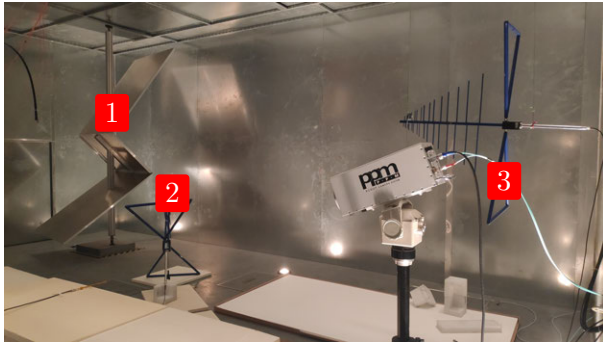
Eine große Problematik im klinischen Alltag der Magnetresonanztomographie (MRT) sind Hochfrequenz-Bildartefakte (HF), welche die diagnostische Bewertung und bildgestützte Therapie erschweren. Diese können u. a. durch die elektromagnetische Emission externer unabdingbarer Therapiegeräte verursacht werden. Um die EMV-Kompatibilität dieser Geräte in Zukunft standardisiert zu erfassen werden Messungen in einer Modenverwirbelungskammer (MVK) vorgeschlagen, da diese als Schirmkabine die realen Betriebsbedingungen in der MRT-Kabine abbilden kann. Des Weiteren ermöglicht das Verfahren eine positions- und richtungsunabhängige Emissionsmessung und damit eine allgemeingültige Messmethodik, deren Ergebnisse auf andere Schirmkabinen übertragen werden können.

Mit der Methodik soll aufgezeigt werden, dass die Emissionsmessungen und gefundenen Grenzwerte aus der MRT-Kabine auf die herkömmliche MVK übertragen werden können. Dies hat den Vorteil, dass für Kompatibilitätsmessungen keine MR-Schirmkabine vorhanden sein muss. Dazu wird ein monofrequentes Störsignal bei der Larmorfrequenz von 3 T (≈ 123 MHz) in der MVK und MR-Kabine gemessen. Das Setup dieser Messung in der MVK ist in Abbildung 3.28a

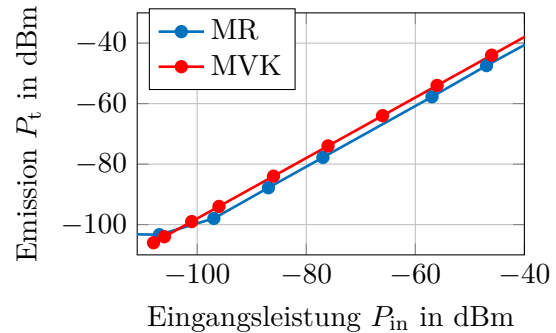
¹⁵ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski in Kooperation mit dem Lehrstuhl Thermische Verfahrenstechnik an der Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik der Otto-von-Guericke-Universität

¹⁶ von B. Sc. Bodo Gambal, M. Sc. Thomas Gerlach, Dr.-Ing. Mathias Magdowski und Dr.-Ing. Enrico Pannicke

dargestellt. Über die Güte der Kabinen werden die Emissionsmessungen in beiden Umgebungen korreliert.



(a) Aufbau in der MVK am Lehrstuhl für EMV; 1: Modenrührer; 2: Sendeantenne; 3: Empfangsantenne. Im Vorraum sind Signalanalysator an die Empfangsantenne und Signalgenerator an die Sendeantenne angeschlossen.



(b) Emissionsmessung mit korrigierter Eingangsleistung bis zum Kabelende aus MR-Kabine und MVK. Die mittlere Abweichung beträgt 2,8 dB.

Abbildung 3.28: Übertragung von Emissionsmessungen in der Modenverwirbelungskammer in die Magnetresonanztomografie

Für beide Messreihen ergibt sich eine Linearität zwischen Eingangsleistung P_t und berechneter Emission P_t , wobei erwartungsgemäß nahe am Messrauschen eine Abflachung auftritt. Die mittlere Abweichung der beiden Kabinen beträgt 2,8 dB. Gründe für die Abweichung sind im Messsetup und Approximationen einiger Größen, wie z. B. der Antenneneffektivität zu suchen. Die Ergebnisse in Abbildung 3.28b zeigen, dass die Messreihen übertragbar sind und in beiden Kabinen vergleichbar gemessen werden kann.

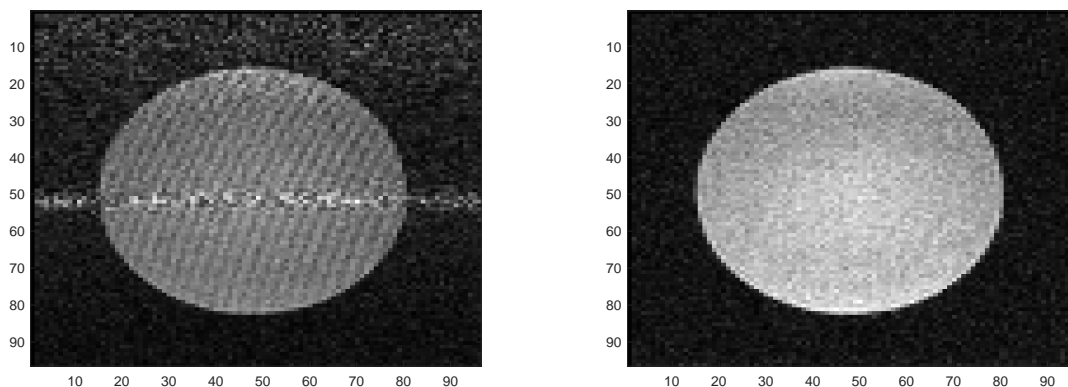
Verbesserung der MR-Kompatibilität eines IRE-Demonstrators¹⁷

Die irreversible Elektroporation (IRE) ist ein minimal-invasives Tumorthherapieverfahren. Mindestens 2 Elektroden werden dazu in dem Zielgewebe platziert und mit starken rechteckförmigen elektrischen Pulsen beschaltet. Die interventionelle MRT bietet sich dabei für die Echtzeitüberwachung der IRE an. Durch spezielle Magnetresonanz-Elektrische-Impedanz-Tomographie (MREIT) Sequenzen können die Verteilung und Intensität der elektrischen Felder, als auch das Ablationsareal und die Position der Elektroden für die IRE überwacht werden. Allerdings bringt das gesamte IRE-System, bestehend aus dem IRE-Demonstrator und den Elektrodenkabeln, zusätzliches hochfrequentes Rauschen in den Arbeitsbereich des MRTs ein. Dadurch entstehen Bildgebungsartefakte, wie z. B. B1-korrelierte Zipper- und Herringbone-Artefakte (Abbildung 3.29a), welche das Verarbeiten von MR-Bildern, hinsichtlich der Aussagekraft der IRE, einschränken.

Dieses Projekt widmet sich einer Reihe von Hardware sowie Software Änderungen, mit dem Ziel das Arbeiten mit dem IRE System in einer MR-Umgebung zu ermöglichen, ohne dass die Bildgebung des MRTs beeinträchtigt wird. Jede Änderung am System wird mittels einer MRT-eigenen Rauschmessung, sowie einer bildgebenden Sequenz (GRE), evaluiert. Die Änderungen bestehen z. B.:

- aus dem Erweitern des IRE Systems hinsichtlich einer Synchronisationsmöglichkeit mit dem MRT,
- dem Einbau einer optisch basierten seriellen Kommunikation zu einem Host-PC,

¹⁷ von B. Sc. Jonas Bindernagel, M. Sc. Joris Hubmann und M. Sc. Thomas Gerlach



(a) Ein mit einer GRE-Sequenz aufgenommenes Phantom während einer aktiven IRE-Ablation. Starke Artefakte sind erkennbar. (b) Beim gleichen Setup wurde der IRE-Demonstrator mit den beschriebenen Maßnahmen verbessert. Die Artefakte sind nicht mehr erkennbar.

Abbildung 3.29: Verbesserung der MR-Kompatibilität eines IRE-Demonstrators

- der verbesserten Schirmung des IRE Gehäuses, sowie der Elektrodenkabel,
- der Nutzung von internen Bauteilen (wie dem Netzteil) mit geringer Störaussendung
- sowie dem Verdrillen der Elektrodenkabel, um potentielle Einkopplungen in das IRE System zu minimieren.

Abbildung 3.29a zeigt die möglichen Auswirkungen des IRE Systems auf die Bildqualität des MRTs. Hierbei wurden noch keine Anpassungen, sowie keine Triggerung des IRE System vorgenommen. Abbildung 3.29b zeigt die Bildqualität mit den erwähnten Modifikationen des IRE Systems während der Bildgebung. Hier ist eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Die typischen B1 korrelierten Artefakte treten so nicht mehr auf. Auch das durchschnittliche Rauschlevel hat sich nach jeder Anpassung zur Verbesserung der MR-Kompatibilität verringert. In weiteren Arbeiten soll überprüft werden, ob mit den derzeitigen Modifikationen des Generators die MREIT angewendet werden kann.

Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz ¹⁸

Ein klassischer Schwerpunkt der elektromagnetischen Verträglichkeit ist der Schutz von Funkkommunikationsdiensten vor unerwünschter Störaussendung. Um den Schutz zu gewährleisten, müssen elektrische Geräte standardisierte Grenzwerte einhalten. Üblicherweise wird für den Nachweis der Einhaltung dieser Grenzwerte, der maximale Emissionswert durch eine räumliche Abtastung des abgestrahlten elektrischen Feldes in Voll- und Halbabstrahlhallen mithilfe von Antennen erfasst. Mit der Einführung von 5G-Diensten haben sich mehrere neue Funkdienste weit oberhalb 6 GHz etabliert. Um auch diesen Frequenzbereich abzudecken, wurden die bisherigen Messverfahren für Frequenzen bis 6 GHz auf einen Frequenzbereich bis 40 GHz übernommen.

Da bei hohen Frequenzen und entsprechenden kleinen Wellenlängen die elektrische Größe des Prüflings wächst, steigt die Komplexität des Abstrahldiagramms. Die Erfassung der maximalen Emission mit den etablierten Verfahren, erweist sich dabei aufgrund des thermischen Rauschens der Geräte, der Dämpfung der Signale durch Kabel und die hohe Direktivität der Prüflinge als schwierig. Ein höherer Antennengewinn hilft zunächst den Dynamikbereich zu verbessern, aber verringert gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit die höchste Emission zu erfassen und steigert

¹⁸von Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, Dr.-Ing. Moustafa Raya, Dipl.-Ing. Max Rosenthal

dadurch den Messaufwand erheblich. Als alternative Messumgebung kann in einer Modenverwirbelungskammer der Messaufwand verringert werden, da aufgrund der Funktionsweise der Modenverwirbelungskammer die gesamte abgestrahlte Leistung ohne Drehung des Prüflings oder Neigung der Antenne aufgenommen werden kann.

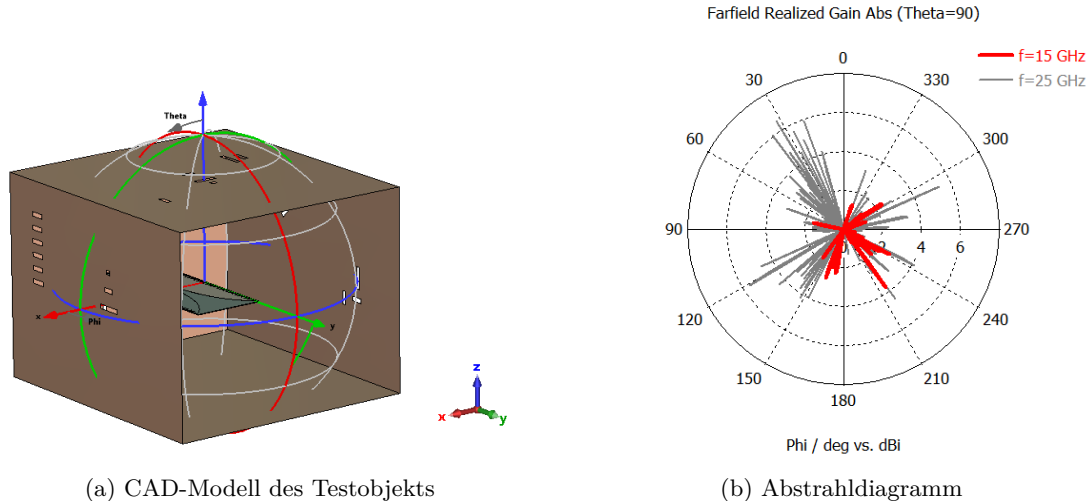


Abbildung 3.30: Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz

Das Ziel dieser Studie ist die Untersuchung verschiedener Messmethoden in Bezug auf Reproduzierbarkeit und praktischem Aufwand. Zur Untersuchung und zum Vergleich der Messverfahren wurde das in Abbildung 3.30 dargestellte Testobjekt entwickelt. Das Simulationsmodell dieses Prüfobjekts soll die Verifizierung der Messungen ermöglichen, um daraus resultierend eine Empfehlung von anwendbaren Messverfahren im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz abzuleiten.

Schnelle Dipolapproximation zur Beschreibung der Streuung und Abstrahlung beliebiger Leiter- und Schlitzgeometrien in Resonatoren und im Freiraum¹⁹

Im Rahmen des DFG-Projekts wird ein neues, semianalytisches Verfahren zur Berechnung gestreuter Felder an dünnen Leitern und Schlitzern mit beliebiger Trajektorie in verschiedenen Umgebungen entwickelt. Dazu werden die allgemeinen Feldintegralgleichungen in dem lokalen krummlinigen Koordinatensystem (siehe Abbildung 3.31), das von der Trajektorie der streuenden Struktur abhängt, formuliert. Dabei wird gezeigt, dass die sich ergebenden Gleichungen, insbesondere die darin enthaltenen Differential- und Integraloperatoren durch die Position entlang des Leiters darstellen lassen. Dies erlaubt die Anwendung eines Regularisierungsverfahrens, das die Lösung der Feldgleichungen erleichtert und effizient implementiert werden kann. Dazu wird die zugrundeliegende Greensche Funktion, welche die Feldumgebung repräsentiert, in Nah- und Fernwechselwirkungsanteile zerlegt. Die einzelnen Anteile können analytisch approximativ gelöst werden, um im Anschluss durch Rekombination die Gesamtlösung als ein Set von elektrisch kleinen oszillierenden Dipolen zu erhalten.

Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter Projektnummer 453810896.

¹⁹von Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold

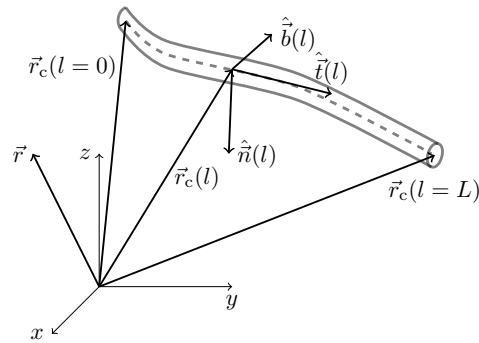


Abbildung 3.31: Leiter mit beliebiger Trajektorie und Länge L im Freiraum mit einem lokalen Koordinatensystem, parametrisiert durch l

Simulative Abschätzung des Einflusses eines Höhenscans in Vollabsorberhallen auf die maximale gemessene Feldstärke²⁰

Die CISPR 16-2-3 schreibt für gestrahlte Störaussendungsmessungen mit Bodenabsorbern in einem bevorzugten Abstand von 3 m für den Frequenzbereich > 1 GHz eine feste Messantennenhöhe vor. Jedoch wird vom Subcommittee CISPR/I im Amendment 1, Edition 2 von CISPR 32 eine Höhenvariation der Messantenne eingeführt, womit diese von der Messvorschrift in CISPR 16-2-3 abweicht. Durch die Höhenvariation der Messantenne soll die Wahrscheinlichkeit der Maximumsfindung bei der Emissionsmessung gesteigert werden, wodurch im Frequenzbereich von 1 GHz bis 3 GHz der Grenzwert von 50 dB(μ V/m) auf 54 dB(μ V/m) erleichtert wurde.

Das zugrundeliegende Messverfahren von CISPR 32 sieht eine solche Antennenhöhenvariation von 1 m bis 4 m vor, wobei die Antenne aber nicht auf den Prüfling gerichtet wird, sondern immer horizontal ausgerichtet bleibt, so dass bei kleinen Prüflingen in 1 m Prüflingshöhe die Antenne bei zunehmender Antennenhöhe den Prüfling immer weniger sieht. Außerdem nimmt der Abstand zum Prüfling mit zunehmender Antennenhöhe zu. Der Frage, um welchen Faktor bzw. welches Maß in dB die maximale gemessene Feldstärkeemission durch den Höhenscan zunimmt bzw. ob die Grenzwertenerleichterung um 4 dB berechtigt ist, wurde durch die Verwendung einer Monte-Carlo Simulation auf Basis eines einfachen Modells eines statistischen Strahlers nachgegangen.

Ein wichtiges Ergebnis ist in Abbildung 3.32 dargestellt. Ab einer Frequenz von 2 GHz ist durch den Höhenscan eine Annäherung der detektierten maximalen Feldstärke an die tatsächliche maximale Feldstärke von ca. 1 dB realisierbar, sofern die Antennenausrichtung auf den Prüfling gewährleistet wird.

Das wahre Emissionsmaximum wird allerdings auch dann noch um mehrere dB unterschätzt, wobei dieser Fehler mit der Frequenz ansteigt. Aus den Simulationsergebnissen lässt sich schließen, dass die maximale Feldstärke für elektrisch große Prüflinge keine aussagekräftige Messgröße ist, weil die Abstrahldiagramme sehr schmale Keulen aufweisen, die aufwendig zu finden sind. Gleichzeitig sinkt natürlich auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine Störsecke genau in einer solchen schmalen, aber starken Abstrahlkeule befindet.

Statt eines zeitaufwendigen Höhenscans, der in kleinen Vollabsorberhallen auch unmöglich ist, wäre es als Ergebnis der Simulationen empfehlenswerter, den Prüfling auf die Seite zu legen und per Drehtisch zwei weitere Schnittebenen zu vermessen, um auch zu ermitteln, was der Prüfling nach oben sowie unten strahlt und somit näher an das tatsächliche Maximum der Abstrahlung heranzukommen. Außerdem wäre es wünschenswert, alle Messwerte abzuspeichern, um aus dem

²⁰von Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold und Dr.-Ing. Mathias Magdowski

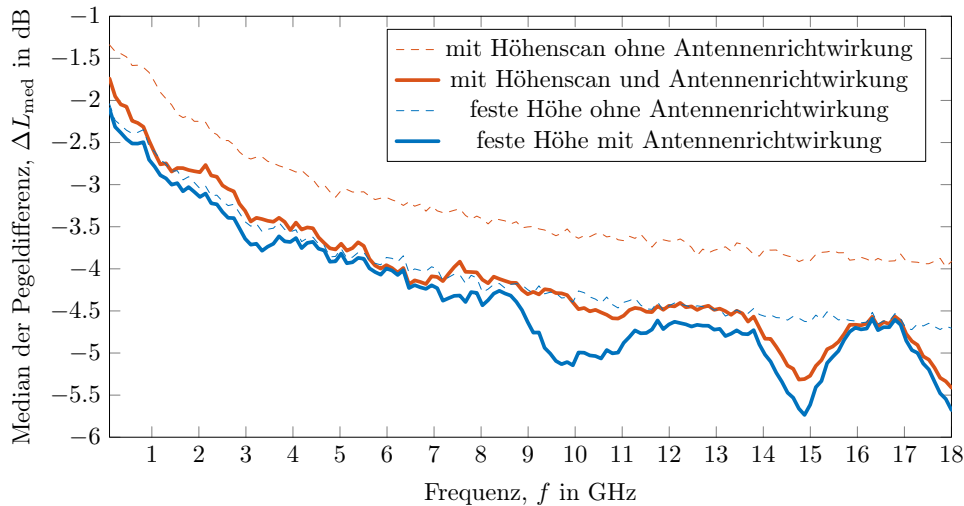


Abbildung 3.32: Abweichung der Mediane der nach verschiedenen Verfahren bestimmten Maximalwerte der Beträge der abgestrahlten Feldstärke im Fernfeld statistischer Strahler von der jeweiligen maximalen Feldstärke unter Berücksichtigung der Antennenrichtwirkung.

Verhältnis von Mittelwert und Maximalwert eine Direktivität bzw. statistische Messunsicherheit durch die Unterabtastung des Abstrahldiagramms abzuschätzen.

Weiterhin lässt sich aus den Simulationen schlussfolgern, dass es oberhalb von 1 GHz besser wäre, die gesamte abgestrahlte Leistung als Messgröße und als Grenzwert heranzuziehen, weil sie robuster zu messen ist und mehr Aussagekraft über das realistische Störpotential liefert.

Messung und Simulation der Störemissionen von kontaktlosen Ladesystemen bei autonomer Positionierung²¹

Resonante induktive Ladesystem bzw. Wireless-Power-Transfer-Systeme (WPT-Systeme) werden zum Laden von mobilen System wie autonom agierenden Robotern eingesetzt werden. Ein entscheidender Faktor für die erwartenden Störemissionen in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit derartiger WPT-Systeme ist die genaue Positionierung des Roboters über der Ladespule (siehe Abbildung 3.33). Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden der Einfluss der Positioniergenauigkeit autonom fahrender Roboter mit WPT-Ladetechnologien auf die elektromagnetischen Störemissionen untersucht und hinsichtlich der Anforderungen der zutreffenden EMV-Normen bewertet werden.

Messung und Analyse der Abschirmung für einen RFID-Tunnel mit Hilfe des Konzeptes von verschachtelten Modenverwirbelungskammern²²

RFID-Tunnel werden für die drahtlose Verfolgung von Paketen und Gütern entlang von Transportwegen und in Lagerhäusern und Logistikzentren eingesetzt. Es handelt sich um ein sehr kostengünstiges Verfahren, bei dem die Tags während des Auslesevorgangs mit einem elektromagnetischen Feld versorgt werden, so dass die Tags keine eigene Batterie benötigen. Für eine

²¹ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski in Kooperation mit dem Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg

²² von Dr.-Ing. Mathias Magdowski in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

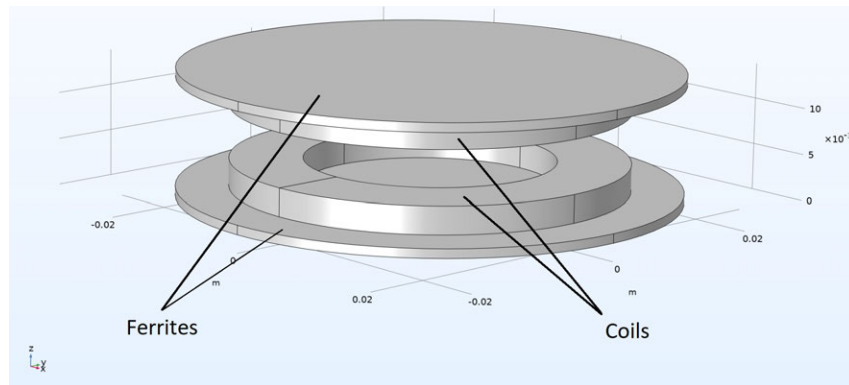


Abbildung 3.33: Modellerte Spulen (Coils) und Ferrite (Ferrites) in der COMSOL-Multiphysics®-Umgebung (Bildquelle: Zohaib Ahmed Masood)

zuverlässigere RFID-Auslesung wird der Tunnel elektromagnetisch abgeschirmt. Im Forschungsprojekt wurden verschiedene Methoden zur Messung der Schirmdämpfung eines bestehenden RFID-Tunnels getestet. Zu diesem Zweck wurde das Konzept der verschichteten elektromagnetischen Modenverwirbelungskammern verwendet (siehe Abbildung 3.34), da es ein statistisch homogenes und isotropes Feld, einen hohen Dynamikbereich und somit ein zuverlässiges und effizientes Messverfahren bietet.



Abbildung 3.34: Messaufbau zur Bestimmung der Schirmdämpfung eines RFID-Tunnels mit Hilfe des Konzeptes von verschichteten Modenverwirbelungskammern (Bildquelle: Hejbul Bahar Sanjib)

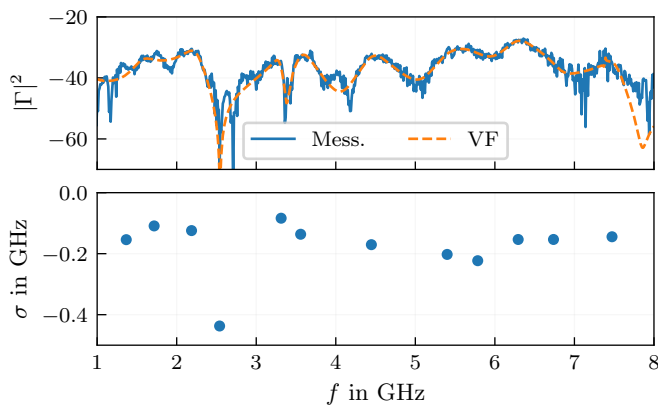
EMV-Analyse ziviler Drohnen anhand komplexer Eigenfrequenzen²³

Schon seit längerer Zeit haben unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) aufgrund einer Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten das Interesse von Wissenschaft, Industrie und der allgemeinen Öffentlichkeit geweckt. Neben ihrem Nutzen in Bereichen wie Such- und Rettungsaktionen oder Frachtlieferungen stellt dieses Wachstum ein zunehmendes Sicherheitsrisiko an kritischen Infrastrukturen wie z. B. Flughäfen dar. Derzeit gibt es keine zuverlässige Konzepte für den zivilen Schutz vor diesen UAVs. Neben der Störung oder Zerstörung wird die automatische Identifizierung

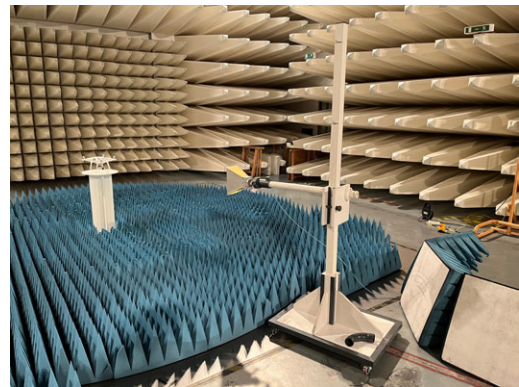
²³von Dipl.-Ing. Max Rosenthal

und Lokalisierung von UAVs eine wichtige Rolle in zukünftigen Sicherheitskonzepten spielen.

Die von Carl Baum begründete *Singularity Expansion Method*, ist eine Charakterisierungsmethode, die auf der elektromagnetischen Impulsantwort basiert. Sie resultierte aus der Beobachtung, dass die Impulsantwort von elektromagnetischen Streuern von einer kleinen Anzahl gedämpfter Sinuswellen dominiert wird, die durch das Resonanzverhalten des Objekts verursacht werden. Diese charakteristischen Sinuswellen äußern sich im Frequenzbereich als Singularitäten und sind unabhängig von der Art der Erregung und hängen lediglich von der Geometrie des Objekts ab. Somit eignen Sie sich als Klassifikatoren für die automatische Objekterkennung. Das absichtliche Stören auf diesen Resonanzen stellt dabei eine Erweiterung klassischer Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit dar.



(a) Gemessene Frequenzantwort UAV und extrahierte Eigenfrequenzen mithilfe des Vector Fitting



(b) Messaufbau in Absorberhalle

Abbildung 3.35: EMV-Analyse ziviler Drohnen anhand komplexer Eigenfrequenzen

Ziel der Arbeit ist durch eine breitbandige Anregung, die Resonanzfrequenzen eines Objekts festzustellen, um auf diesen mit schmalbandigen Signalen hoher Leistung zu stören. Anhand einer umfangreichen Messkampagne (siehe Abbildung 3.35) wurden dabei geeignete Verfahren für

- die Kalibrierung des Radarsystems,
- die Signalverarbeitung der Messdaten,
- die automatische Extraktion der Eigenfrequenzen

identifiziert und mithilfe einfacher resonanter Modellen validiert.

3.3.3 Promotionen

Dr.-Ing. Moustafa Raya: Circuit Models of Shielded Single and Multiconductor Cables for EMC Analyses

Gutachter:

- Prof. Ralf Vick, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Frank Gronwald, Universität Siegen

verteidigt am 27. Januar 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.37)

Es wurden neuartige Schaltungsmodelle für Koaxialkabel mit Geflechschirm über einer Masseebene vorgestellt. Die Modelle sind aus der Leitungstheorie abgeleitet und eignen sich zur Integration in SPICE-Simulationsprogramme. Es werden zwei Arten von Modellen vorgestellt. Zuerst wird ein konzentriertes Schaltungsmodell (lumped-circuit model) erklärt, bei dem das Kabel in kleine Abschnitte unterteilt ist, wobei jeder Abschnitt durch ein Ersatzschaltbild ersetzt wird. Dann wird aus den analytischen Lösungen der Leitungstheorie ein Makromodell entwickelt, welches das gesamte Kabel ohne Diskretisierung darstellt.

Diese Arbeit demonstriert die Effizienz des Makromodells in Bezug auf Rechenzeit und Genauigkeit im Vergleich zum konzentrierten Schaltungsmodell. Die entwickelten Schaltungsmodelle können die eingekoppelte Spannung an den Abschlüssen des Kabels berechnen, wenn eine einfallende ebene Welle in das Kabel eingekoppelt wird. Diese Modelle können auch die Kopplungen aufgrund von Störungen durch konzentrierte Quellen berechnen. Die entwickelten Modelle eignen sich daher für die Schaltungs-EMV-Analyse von Systemen, die geschirmte Kabel enthalten und anfällig für Feldeinkopplungen oder Störungen mit anderen Systemen sind.

Die bidirektionale Kopplung zwischen der Innen- und Außenseite des Kabelschirms wird berücksichtigt, was die Analyse der Störfestigkeit und der Emission ermöglicht. Die mathematischen Funktionen zur Berechnung der Kopplung zwischen dem inneren und dem äußeren System des Kabels werden in Ersatzschaltungen umgewandelt, die den Einsatz der Modelle im Frequenzbereich oder zusammen mit nichtlinearen Elementen im Zeitbereich ermöglichen. Die entwickelten Modelle für ein einadriges geschirmtes Kabel werden im Rahmen dieser Arbeit für geschirmte mehradrige Kabel erweitert.

Die Schaltungsmodelle werden durch Messungen und Feldsimulationen validiert, wobei die Ergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung zeigen. Ein Simulationsbeispiel für eine abgeschirmte Leitung über eine Masseebene ist in Abbildung 3.36 dargestellt. Die Feldeinkopplung an der Diode D_1 wird mit den entwickelten Modellen berechnet und mit der Feldsimulation von CST verglichen.

Dr.-Ing. Benjamin Willmann: Elektromagnetische Umweltverträglichkeit eines Elektrofahrzeugs mit induktivem Ladesystem

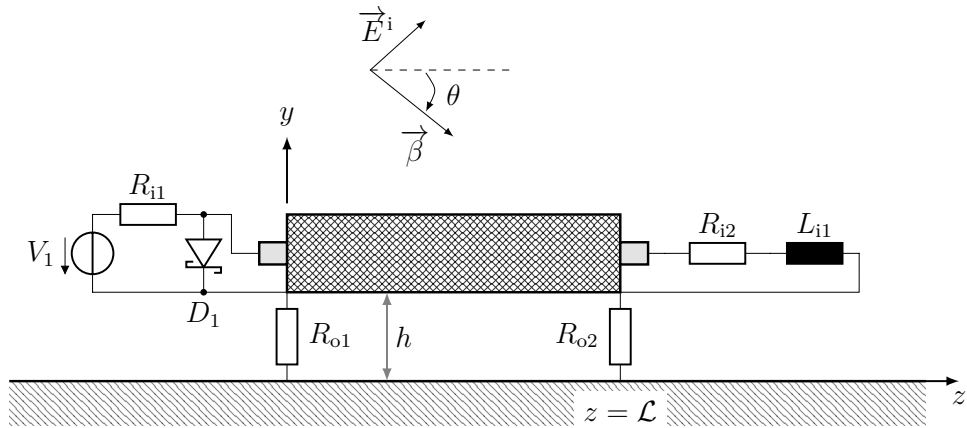
Gutachter:

- Prof. Ralf Vick, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Achim Enders, Technische Universität Braunschweig

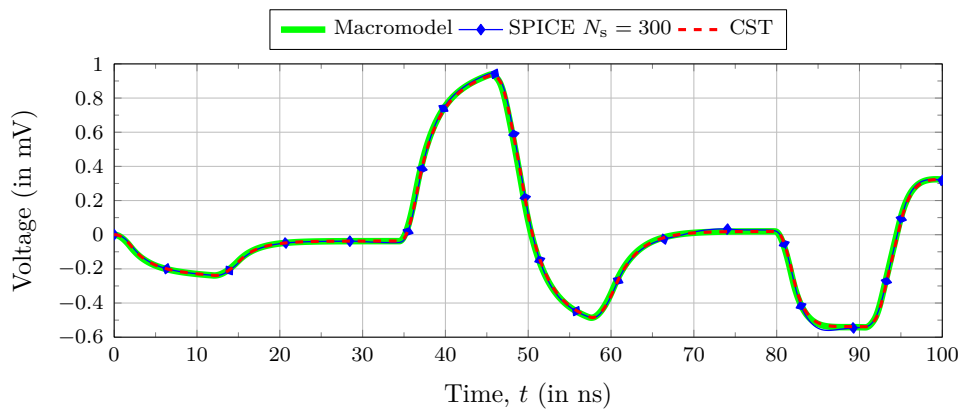
verteidigt am 21. Februar 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.39)

Bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen mit kontaktlosen Ladesystemen (WPT-Systeme) ist die Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU) gegenüber Magnetfeldern sicherzustellen. Mithilfe von zwei neu entwickelten Methoden kann eine Abschätzung des EMVU-Verhaltens bereits in einer frühen Phase der Entwicklung erfolgen. Dabei ist es möglich sowohl Referenz- als auch Basiswerte zu betrachten. Für die Berechnung der induzierten elektrischen Feldstärke im Körper wird eine Erweiterung eines bestehenden Feldlösers durch Volumenintegralgleichungen vorgestellt und anschließend am Menschenmodell TARO verifiziert.

Die erste Methode modelliert WPT-Systeme aus Konstruktionsdaten und parametrisiert diese durch eine Kombination von Netzwerkanalyse und der Theorie reflektierter Impedanzen. Eine Verifikation kann durch Magnetfeldmessungen während eines Komponententests durchgeführt



(a) Anordnung des geschirmten Kabels



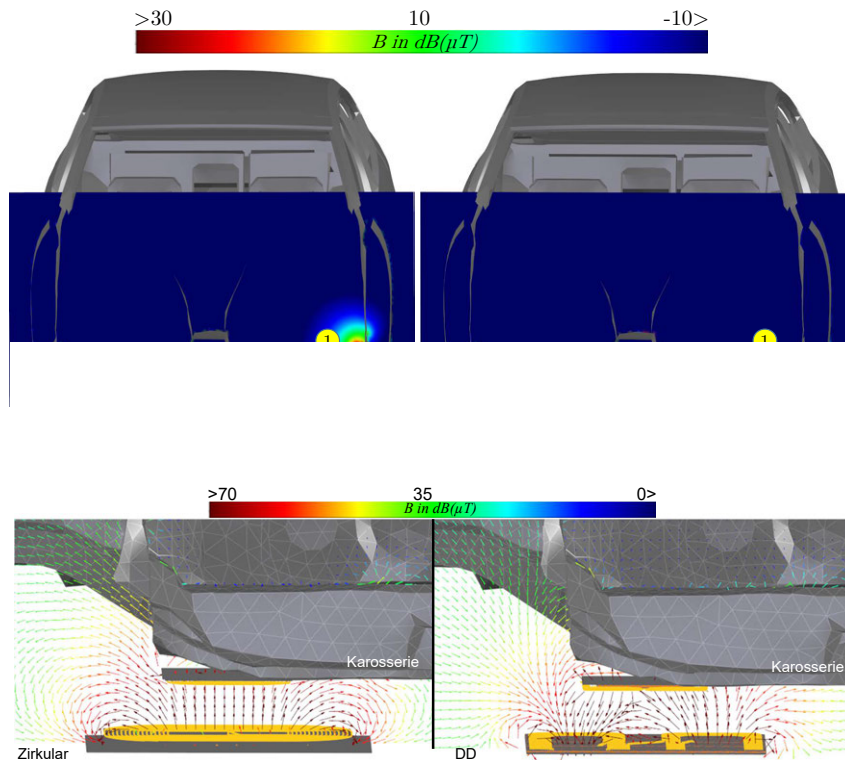
(b) Spannungsverlauf an der Diode D_1

Abbildung 3.36: Berechnung der Feldeinkopplung an einem geschirmten Kabel über einer perfekt leitenden Masseebene



Abbildung 3.37: Gratulation an Moustafa Raya am Otto-von-Guericke-Denkmal

werden. Die Simulationen sind mit dem EMV-Softwarepaket CST EMV durchgeführt worden. Die EMV-Modelle des Elektrofahrzeugs sind in Abbildung 3.37 dargestellt.



(b) Magnetfeldlinien für verschiedene Spulenanordnungen

Abbildung 3.38: Elektromagnetische Umweltverträglichkeit eines Elektrofahrzeugs mit induktivem Ladesystem

Im Innenraum eines Fahrzeugs treten ebenfalls Magnetfelder auf. Diese werden meist durch die elektrischen Ströme der Energieversorgungssysteme verursacht. Hier bietet die zweite vorgestellte Methode der strombasierten EMVU-Bewertung die Möglichkeit einer prototypenfreien Entwicklung. Dazu werden zunächst Stromgrenzwerte für die jeweilige Komponente aus den Referenzwertfunktionen anzuwendender Personenschutzempfehlungen in Verbindung mit Leitungs- und Karosserie-Daten eines virtuellen Prototyps abgeleitet. Anschließend können diese in einer CISPR-25-Komponentenprüfung für die EMVU-Bewertung der gemessenen Ströme verwendet werden.

3.3.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] J. Petzold, M. Magdowski und R. Vick, „Simulative Abschätzung des Einflusses eines Höhenscans in Vollabsorberhallen auf die maximale gemessene Feldstärke“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Köln: Apprimus Verlag, Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien an der RWTH Aachen, Juli 2022, S. 137–142. Adresse: https://download.mesago.de/EMV/EMV_Tagungsband/Kongress_Proceedings_EMV_2022.pdf.



Abbildung 3.39: Gratulation an Benjamin Willmann am Otto-von-Guericke-Denkmal

- [2] B. Hoepfner und R. Vick, „LCL-Filter-Dimensionierung für Vierleiter-Gleichspannungsstromrichter mit Aktiv-Filter-Funktionalität“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Köln: Apprimus Verlag, Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien an der RWTH Aachen, Juli 2022, S. 379–386. Adresse: https://download.mesago.de/EMV/EMV_Tagungsband/Kongress_Proceedings_EMV_2022.pdf.
- [3] P. Schulz, P. Markgraf und M. Magdowski, „Simulation von stark fehlangepassten und hochresonanten Leitungsnetzwerken im Zeit- und Frequenzbereich“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Köln: Apprimus Verlag, Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien an der RWTH Aachen, Juli 2022, S. 19–25. Adresse: https://download.mesago.de/EMV/EMV_Tagungsband/Kongress_Proceedings_EMV_2022.pdf.
- [4] M. Magdowski, P. Markgraf und P. Schulz, „Messung und Simulation der Eigenresonanzen durch Mehrfachreflexionen in einem Leitungsnetzwerk im Frequenz- und Zeitbereich“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Köln: Apprimus Verlag, Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien an der RWTH Aachen, Juli 2022, S. 27–33. Adresse: https://download.mesago.de/EMV/EMV_Tagungsband/Kongress_Proceedings_EMV_2022.pdf.
- [5] M. Magdowski und M. Hampe, „Einfluss verschiedener Datenformate auf frequenzabhängige mit Impedanzanalysatoren gemessene Impedanzen“, in *Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit*, H. Garbe, Hrsg., Köln: Apprimus Verlag, Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien an der RWTH Aachen, Juli 2022, S. 295–301. Adresse: https://download.mesago.de/EMV/EMV_Tagungsband/Kongress_Proceedings_EMV_2022.pdf.
- [6] M. Ali, R. Bushra, M. Magdowski, R. Vick, A. Mertens und J. Friebe, „Prediction of Stray Capacitance of CM Chokes and its Influence on EMI Filters“, in *PCIM Europe 2022 International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, Nürnberg: VDE-Verlag, Mai 2022, S. 10, ISBN: 978-3-8007-5822-7. DOI: 10.30420/565822240.
- [7] R. Serra, G. Gradoni, G. Andrieu u. a., „Reverberation Chambers at the Edge of Chaos: Discussion Forum at EMC Europe 2020“, *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, Jg. 11, Nr. 1, S. 73–88, Mai 2022, ISSN: 2162-2272. DOI: 10.1109/MEMC.2022.9780346.
- [8] S. V. Tkachenko, F. Middelstädt und R. Vick, „The Regge Method for a Vertical Half-Circular Loop Above Conducting Ground“, in *GlobalEM 2022 – Global Electromagnetics Conference*, The St Regis Abu Dhabi: Technology Innovation Institute, Nov. 2022, S. 1. Adresse: https://www.globalem2022.com/assets/images/TII_GlobalEM_Abstract_Book.pdf.
- [9] M. Raya, S. V. Tkachenko und R. Vick, „Circuit Model of Multiconductor Lines Excited by an Incident Plane Wave“, in *GlobalEM 2022 – Global Electromagnetics Conference*, The St Regis Abu Dhabi: Technology Innovation Institute, Nov. 2022, S. 1. Adresse: https://www.globalem2022.com/assets/images/TII_GlobalEM_Abstract_Book.pdf.
- [10] S. V. Tkachenko, F. Middelstädt, M. Raya und R. Vick, „Method of Modal Parameters for the Wire Segments With Symmetrical Geometry and the Regge Method“, in *GlobalEM 2022 – Global Electromagnetics Conference*, The St Regis Abu Dhabi: Technology Innovation Institute, Nov. 2022, S. 1. Adresse: https://www.globalem2022.com/assets/images/TII_GlobalEM_Abstract_Book.pdf.

- [11] M. Raya, M. Magdowski, S. V. Tkachenko und R. Vick, „SPICE-Based Lumped Circuit Model of Multiconductor Lines Excited by an Incident Plane Wave“, in *2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Göteborg, Schweden, Sep. 2022, S. 644–648. DOI: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9901258.
- [12] J. Petzold, M. Magdowski und R. Vick, „Investigation of the Impact of Height Scans in Fully Anechoic Rooms on Detection of Maximal Radiated Field Strength Using Monte Carlo Simulation“, in *2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Göteborg, Schweden, Sep. 2022, S. 846–850. DOI: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9900950.
- [13] M. Rosenthal, F. Middelstaedt und R. Vick, „Mono-Static Radar Cross-Section Measurement and Calibration for Complex Natural Resonance Extraction“, in *2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Göteborg, Schweden, Sep. 2022, S. 221–226. DOI: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9901128.

Dissertationen und Bücher

- [1] M. Raya, *Circuit Models of Shielded Single and Multiconductor Cables for EMC Analyses* (Res Electricae Magdeburgenses 88), 1. Aufl. Magdeburg: Lindemann, A. u. a., 2022, ISBN: 978-3-948749-16-3. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2022-037.
- [2] B. Willmann, *Elektromagnetische Umweltverträglichkeit eines Elektrofahrzeugs mit kontaktlosem Ladesystem* (Res Electricae Magdeburgenses 90), 1. Aufl. Magdeburg: Lindemann, A. u. a., 2022, ISBN: 978-3-948749-19-4. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2022-054.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] J. Loviscach und M. Magdowski, „Oral Examinations via Videoconference from the Student’s Point of View“, Dez. 2021. Adresse: <https://bit.ly/OralMathExams>.
- [2] M. Magdowski, „Basics of Digital Testing“, in *Online Workshop*, Technical University Ilmenau, Dez. 2021. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/basics-of-digital-testing-online-workshop-at-tu-ilmenau>.
- [3] M. Magdowski, „Alternative Formen der Leistungsüberprüfung im Sinne von Open-Book-Prüfungen, Individualisierten Klausuren & Online-Tests“, in *Hybrid-Workshop*, Internationales Stiftungsgymnasium Magdeburg, Jan. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/alternative-formen-der-leistungsberprfung-im-sinne-von-openbookprfungen-individualisierten-klausuren-onlinetests-hybridworkshop-im-internationalen-stiftungsgymnasium-magdeburg>.
- [4] M. Magdowski, „Digitale Prüfungen: so offen wie möglich, so sicher wie nötig“, in *Impulsvortrag zur Kick-Off-Konferenz des Projekts PITCH*, Universität Duisburg-Essen, Feb. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/digitale-prfungen-so-offen-wie-mglich-so-sicher-wie-ntig-impulsvortrag-zur-kickoffkonferenz-des-projekts-pitch>.
- [5] M. Magdowski, „OER in der Praxis – Herausforderungen und Möglichkeiten“, in *33. Treffen des Arbeitskreises „Physik in den Ingenieurwissenschaften“*, Netzwerk hdw nrw (Hochschuldidaktische Weiterbildung – Nordrhein-Westfalen), März 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/oer-in-der-praxis-herausforderungen-und-mglichkeiten>.

- [6] M. Magdowski, „Ethical aspects of online exams - How can online exams be less stressful and intimidating?“, in *Digital Teaching Day*, Technische Universität Ilmenau, März 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/ethical-aspects-of-online-exams-how-can-online-exams-be-less-stressful-and-intimidating>.
- [7] M. Magdowski, „Den digitalen Graben überbrücken – Hybride Tagungen gestalten“, in *Auftakttagung „Hochschullehre gemeinsam gestalten“*, Verbundprojekt eSALSA (eService-Agentur der Hochschulen im Land Sachsen-Anhalt), Apr. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/den-digitalen-graben-berbrcken-hybride-tagungen-gestalten>.
- [8] M. Magdowski, „Digitale Prüfungen und Prüfungsformate“, in *Workshop 22-004-D-Z im Bereich „Prüfen und Bewerten“*, Netzwerk Hochschuldidaktische Weiterbildung Nordrhein-Westfalen hdw nrw, Mai 2022. Adresse: <https://bit.ly/22004dz>.
- [9] M. Magdowski, „Praktische Einblicke in das hybride Lehren“, in *Erfahrungsaustausch im Digital Workspace „Hybrides Lehren und Lernen gestalten“ des Projekts Digitale Hochschulbildung*, Hochschule Mittweida, Mai 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/praktische-einblicke-in-das-hybride-lehren>.
- [10] M. Magdowski, „Personalized Tasks and Anonymous Peer Feedback in the Fundamentals of Electrical Engineering“, in *inspirED*, Virtual Conference, Mai 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/personalized-tasks-and-anonymous-peer-feedback-in-the-fundamentals-of-electrical-engineering>.
- [11] M. Magdowski, „Hybride Lehre – Tipps & Tricks“, in *Erfahrungsaustausch zum Tag der Lehre 2022*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Mai 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/hybride-lehre-tipps-tricks>.
- [12] M. Magdowski, „OER in der Praxis – Herausforderungen und Möglichkeiten“, in *Workshop beim 1. Präsenztreffen des AI-Engineering-Kooperationsstudiengangs mit Ausbildungsschwerpunkt auf Künstlicher Intelligenz und Ingenieurwissenschaften in Sachsen-Anhalt*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Mai 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/oer-in-der-praxis-herausforderungen-und-mglichkeiten-251901451>.
- [13] M. Magdowski, „Alternative Prüfungsformate“, in *Mikro-Impuls für die Initiative „LiGa – Lernen im Ganzttag“ in Sachsen-Anhalt*, Mai 2022. Adresse: <https://bit.ly/LiGa2022>.
- [14] M. Magdowski, „Digitale Prüfungen: so offen wie möglich, so sicher wie nötig“, in *Digital Lunch*, Technische Universität Dortmund, Juni 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/digitale-prfungen-so-offen-wie-mglich-so-sicher-wie-ntig-digital-lunch-an-der-technischen-universitt-dortmund>.
- [15] M. Magdowski, „Coupling to Complex Systems“, in *Workshop „You had me at ‚Reverb‘!“, Göteborg, Schweden*, Sep. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/coupling-to-complex-systems>.
- [16] M. Magdowski, „Aktivierende und kollaborative Lehrmethoden – von Audience Response bis zur digitalen Pinnwand“, in *Workshop V-B7 im Fachforum #edgo22*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sep. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/aktivierende-und-kollaborative-lehrmethoden-von-audience-response-bis-zur-digitalen-pinnwand-workshop-vb7-im-fachforum-edgo22>.
- [17] M. Magdowski, „Erfahrungen mit einem Online-Zulassungstest mit numerischen und MC-basierten Fragen in den Grundlagen der Elektrotechnik“, in *Online-Kolloquium zu kompetenzorientierten digitalen Prüfungen im Projektverbund „Partnerschaft für innovative E-Prüfungen der baden-württembergischen Universitäten (PePP)“*, Videoaufzeichnung des Vortrags: <https://youtu.be/CEYyVGTOQEY>, Okt. 2022. Adresse: <https://bit.ly/PePP2022>.

- [18] M. Magdowski, „Erfahrungen aus einer Open-Web-Präsenzprüfung mit Online-Einreichung in den Grundlagen der Elektrotechnik“, in *E-Prüfungs-Symposium ePS*, Technische Universität Hamburg, Speicher am Kaufhauskanal in Harburg, Nov. 2022. Adresse: <https://www.slideshare.net/MathiasMagdowski/erfahrungen-aus-einer-openwebpraesenzpruefung-mit-onlineeinreichung-in-den-grundlagen-der-elektrotechnik>.
- [19] M. Magdowski, „Weiterentwicklung kompetenzorientierter Prüfungen“, in *Workshop am Tag der Lehre „Prüfen auf dem Prüfstand – klassisch – technologiebasiert – innovativ“*, Education Support Center (ESC) der DHBW Karlsruhe, Mosbach & Mannheim, Juni 2022.
- [20] M. Magdowski, „Salatschüssel oder Satellitenschüssel, was strahlt besser?“, in *Science Speed Dating zum Auftakt der „Langen Nacht der Wissenschaft“*, Alter Markt Magdeburg, Mai 2022.
- [21] M. Magdowski, „Wozu braucht man eine 4 m × 6 m × 8 m große Mikrowelle?“, in *Science Slam zum Willkommenstag*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Okt. 2022. Adresse: https://youtu.be/c0TM_iSmCv0.
- [22] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 16 – Von programmierbaren Taschenrechnern und modernen Prüfungsformaten“, in *Bits & Bytes*, Nov. 2021. Adresse: <https://youtu.be/J5cZyaT-dqY>.
- [23] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 17 – Videos in der Lehre, der Versuch einer Taxonomie“, in *Bits & Bytes*, Jan. 2022. Adresse: https://youtu.be/g_-RY_Btfd8.
- [24] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 18 – Flying Faculty und internationale Hochschulkooperationen“, in *Bits & Bytes*, Feb. 2022. Adresse: <https://youtu.be/nMC1SaKvw24>.
- [25] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 19 – Intl. Uni-Kooperationen, gekaperte Videositzungen und das kommende SoSe22“, in *Bits & Bytes*, März 2022. Adresse: <https://youtu.be/TQE6dqPwcaM>.
- [26] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 20 – Videosetups, Präsenzlehre(TM) und irgendwas mit hybrid“, in *Bits & Bytes*, Apr. 2022. Adresse: https://youtu.be/_ASOHgrkUos.
- [27] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 21 – Doku-Cam-Showdown“, in *Bits & Bytes*, Mai 2022. Adresse: <https://youtu.be/twxVYR51IFU>.
- [28] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 22 – Streiten über die 95-HFD-Thesen“, in *Bits & Bytes*, Juli 2022. Adresse: <https://youtu.be/AVIeU1MCGrA>.
- [29] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 23 – Echte Klausurantworten besprechen, Outdoor-Askathon und ein neues Mikrofon“, in *Bits & Bytes*, Aug. 2022. Adresse: https://youtu.be/F_S4SEcMsUg.
- [30] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 24 – KI-gestütztes Schreiben in der Bildung, Hybridzeugs und ein COMICA-Mikrofon“, in *Bits & Bytes*, Sep. 2022. Adresse: <https://youtu.be/1kNXX0unB-o>.
- [31] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 25 – Insta360 Link Reality Check, Lehre um 7:30 Uhr & das Wintersemester 2022/23“, in *Bits & Bytes*, Okt. 2022. Adresse: <https://youtu.be/h1Fm0VMhoWM>.
- [32] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 26 – Wie viele Kameras sind eine Kamera zuviel und ist Mastodon das neue Twitter?“, in *Bits & Bytes*, Okt. 2022. Adresse: <https://youtu.be/WiFvTd-v8XQ>.

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 Zuverlässigkeitsuntersuchungen an modernsten Leistungshalbleiter-Bauelementen sowie auf Schaltungen und Systeme der Stromversorgungs- und Antriebstechnik für stationäre und mobile Anwendungen. 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 2022 bearbeiteten Themen mit Bezug auf leistungselektronische Bauelemente und Systeme werden im folgenden Abschnitt detaillierter erläutert.

3.4.2 Forschungsprojekte

Compensation of Long-Term Drift Effects of SiC MOSFETs under Power Cycling Like Gate Conditions²⁴

Approach and design of experiment Discrete commercial SiC MOSFETs were used as exemplary devices under test (DUTs). They were mounted on a heat plate and the impact of different gate profiles on the long-term parameter drift was investigated under constant temperature conditions: When applying the $V_{SD}(T)$ -method for T_{vj} sensing during power cycling (P/C), the DUT needs to be switched and a sufficiently negative turn-off gate voltage $V_{GS,off}$ has to be applied in order to fully close the channel. Such P/C like gate profiles were applied to the DUTs. To investigate the similarities and differences of P/C like with more application-like switching, the gate profile was accordingly adapted, as shown in Fig. 3.40 and additionally applied to the DUTs.

²⁴von M. Sc. Carsten Kempiak

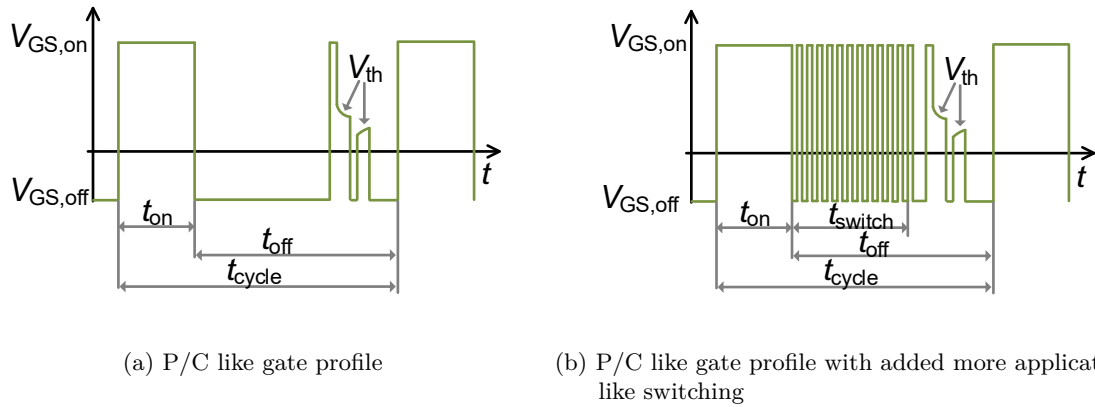


Figure 3.40: Definition of the applied gate profiles

The parameters $R_{DS,on}$ and V_{th} were measured as in a P/C test at different instances each cycle, as shown in Fig. 3.41: Due to dynamic V_{th} instabilities, the absolute values differ as a function of the measurement instance, while the monitored long-term drift is not significantly affected, as exemplarily shown in Fig. 3.41c for ΔV_{th} (similar for $\Delta R_{DS,on}$ and other devices).

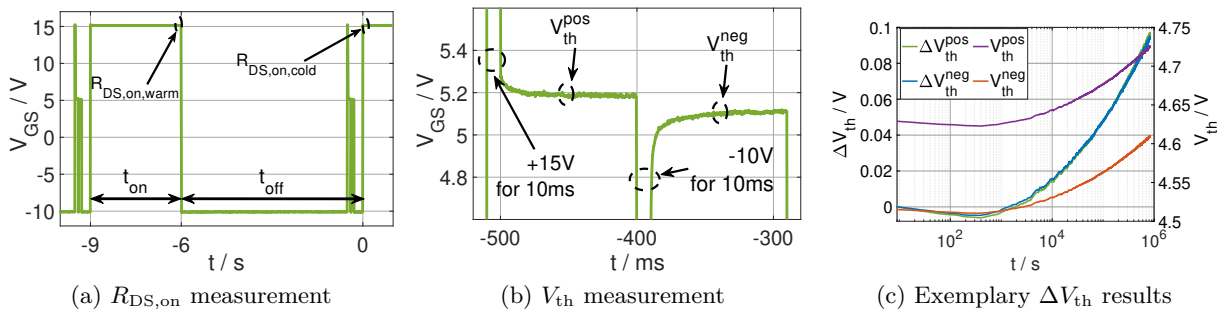


Figure 3.41: Definition of the measurement instances and deviation of ΔV_{th} as a function of the instance during each cycle: The absolute values differ, the long-term shift does not significantly.

A compensation approach was further developed and added to the test setup, allowing to adjust the turn-on gate voltage $V_{GS,on}$ in accordance to the measured ΔV_{th} , as shown in Fig. 3.42. This way, the underlying hypothesis that under constant temperature conditions the only root cause for an observed $R_{DS,on}$ shift is ΔV_{th} can be investigated.

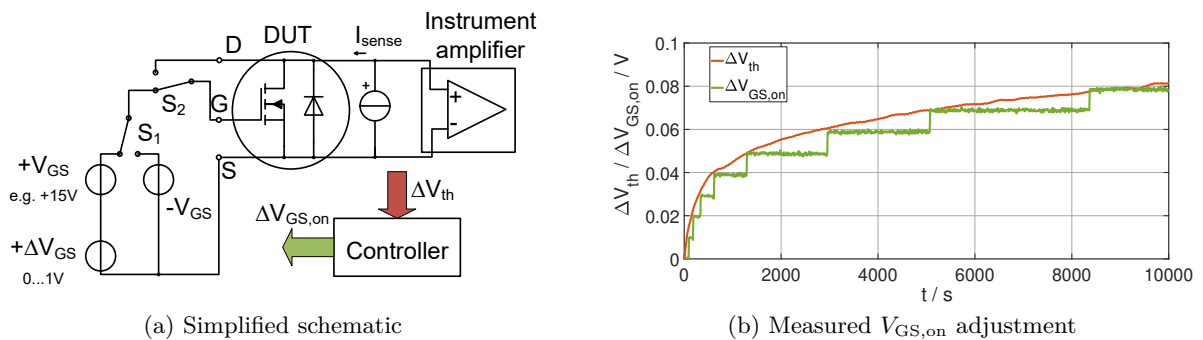


Figure 3.42: Applied ΔV_{th} compensation approach

Results Applying a P/C like gate profile to SiC MOSFETs yields a V_{th} increase and in turn an increase of $R_{DS,on}$. This parameter shift is more pronounced when a more negative $V_{GS,off}$ is applied and correlates with the number of switching events, as can be seen in Fig. 3.43, while compensation (cf. Fig. 3.42) reduces $\Delta R_{DS,on}$ and fully compensates the shift when $V_{GS,off} = -6\text{ V}$, as expected. However, in contrast to the underlying assumption, the electrically induced $R_{DS,on}$ increase is not fully compensated when $V_{GS,off} = -10\text{ V}$ is applied, which indicates an additional drift effect, which also correlates with the number of bipolar switching events and is triggered when a certain $V_{GS,off}$ is exceeded; this has also been observed when testing devices of other manufactures.

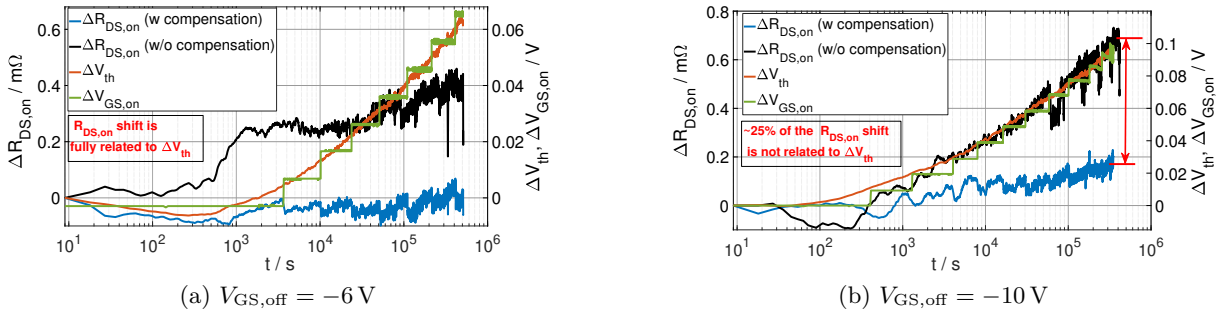


Figure 3.43: Comparison of compensated and non-compensated $\Delta R_{DS,on}$ results as a function of $V_{GS,off}$: An additional drift component appears when a certain $V_{GS,off}$ is exceeded. 650 V device; $T_{vj} = 150\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{GS,on} = 15\text{ V}$; $t_{on} = 3\text{ s}$; $t_{off} = 6\text{ s}$

When adding additional switching events to the gate profile, ΔV_{th} as well as $\Delta R_{DS,on}$ increase as shown in Fig. 3.44. Compared to an application, the number of bipolar switching events during a P/C test is rather low and thus a non relevant increase of V_{th} is expected based on gate switching tests, since V_{th} starts to increase significantly only after millions of switching events. The number of switching events of the results shown in Fig. 3.43, however, is only about 10^5 , thus proving that a P/C-like switching event – probably due to the much longer t_{on} – adds much more to the overall drift than one switching event during application, in case of the DUT investigated in Fig. 3.43 and Fig. 3.44, about 10^5 times more. Additionally, the identified drift effect not covered by ΔV_{th} is also present under more application-like switching and its proportion on the total $\Delta R_{DS,on}$ seems to increase for devices of higher voltage class (cf. Fig. 3.44).

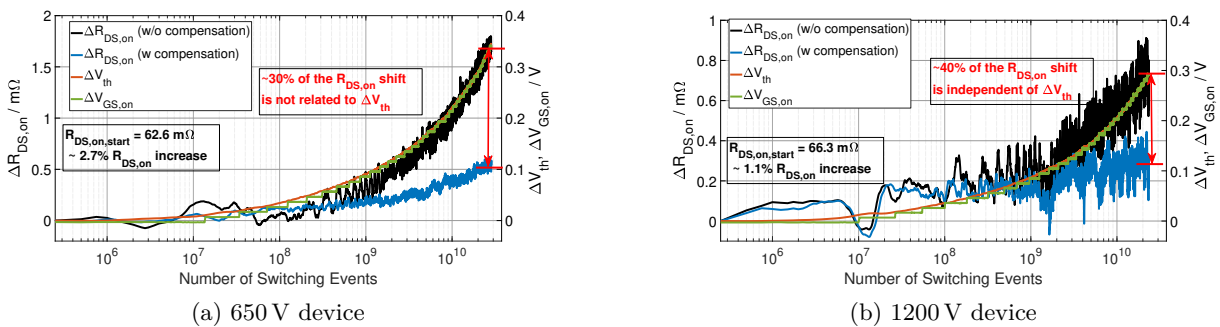


Figure 3.44: Shift of $\Delta R_{DS,on}$ and ΔV_{th} under added more application-like switching to the gate profile; $T_{vj} = 150\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{GS,on} = 15\text{ V}$; $V_{GS,off} = -10\text{ V}$; $t_{on} = 3\text{ s}$; $t_{off} = 6\text{ s}$; $t_{switch} = 5\text{ s}$; $f_{switch} = 50\text{ kHz}$

The long-term V_{th} drift can be phenomenologically described by an exponential function:

$$\Delta V_{th} = A \cdot N_{sw}^n \tag{3.1}$$

where $n < 1$, thus the slope of ΔV_{th} as well as of $\Delta R_{DS,on}$ declines with the number of bipolar switching events N_{sw} . Furthermore, this drift seems to be permanent. Hence, the parameter drift should be lower for devices which have been gate cycled beforehand compared to fresh devices. When defining a stable P/C condition like e. g. $\Delta V_{th} < 10$ mV for the next 100 000 cycles, Equation (3.1) can be used to estimate the number of P/C-like gate cycles which need to be applied to a DUT before a P/C test in order to fulfill this condition, which results in a preconditioning time of about 12 weeks in case of the device tested above. Since the additional $R_{DS,on}$ drift effect seems to also correlate with the number of switching events with a declining slope, it will also be suppressed and a nearly drift free P/C test of SiC MOSFETs could therefore be accomplished by such a preconditioning procedure.

Conclusion By adjusting $V_{GS,on}$ in accordance to the measured ΔV_{th} , the impact of ΔV_{th} on $\Delta R_{DS,on}$ is fully compensated, identifying an additional drift effect not covered by ΔV_{th} under bipolar switching conditions. The comparison of ΔV_{th} under P/C-like and more application-like switching further reveals a much higher impact of the P/C-like gate profile on ΔV_{th} per switching event. Since the drift effects seem to be permanent with a declining slope, preconditioning is a promising approach to suppress parasitic drift effects during P/C.

3D Power Electronics²⁵

Today's power modules are primarily based on direct copper bonded (DCB) ceramic substrates. For mains-connected drive converters, usually IGBTs with freewheeling diodes are soldered onto the DCBs; heavy aluminum wires with a thickness around 400 μm are bonded to the top metallization of the chips. The heat is dissipated through the DCB, possibly a baseplate and a heatsink to the cooling medium such as air or water. Except for intelligent power modules, other circuit elements like DC-link capacitors, drivers or current sensors are placed outside in the vicinity of the module. A different approach has been established in recent years, where active and passive electronic devices are embedded in printed circuit boards. The components can be connected through conductive structures which can be designed to achieve low parasitic inductance due to areal conductors opening minimized loops such as the commutation loop. 3D-stacking the components becomes possible as well as a low thickness if thin components are available. Initially, embedded packages had been used in low cost, low pin count, low power applications; today's mature technology permits to embed power devices like GaN HEMTs to build converters in the kW range as well.

In this project, a power section with three discrete phase legs using GaN HEMTs has been established and tested for reference as benchmark as shown in Fig. 3.45. An embedded module has been accordingly completed by a research partner. Its performance will further be evaluated and compared to the discrete's. The design aims at three-phase motor-drive applications with about 5 kW nominal power and 400 V DC link voltage.

Temperaturmessung von GaN HEMTs mittels Gate-Strompeaks²⁶

Zur Überwachung von Bauelementen wie GaN-HEMTs ist es sinnvoll, die Sperrschichttemperatur so genau wie möglich zu bestimmen. Innerhalb einer Schaltung kann diese Temperatur nur auf der Grundlage sogenannter temperatursensitiver elektrischer Parameter (TSEP) gemessen werden. TSEPs verwenden elektrische Parameter des Transistors, die temperaturabhängig sind und eine hohe Messgenauigkeit ermöglichen sollten.

²⁵ von M. Sc. Tianyu Li

²⁶ von M. Sc. Kevin Ladentin

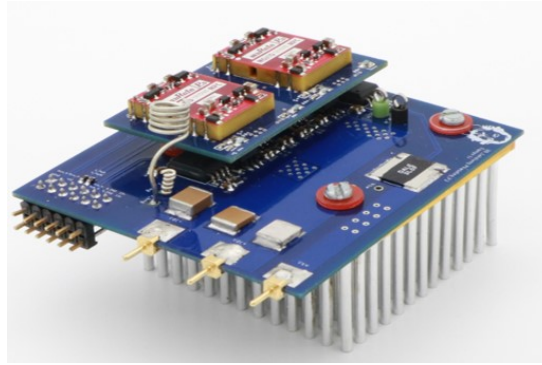


Figure 3.45: Phase leg power module

Ein solcher Parameter ist der interne Gate-Widerstand. Es handelt sich hierbei um den ohmschen Widerstand der Gate-Struktur des Halbleiters, welcher im Betrieb nicht zugänglich ist. Ersatzweise wird der Gate-Spitzenstrom während des Einschaltvorgangs gemessen, der linear vom internen Gate-Widerstand abhängig ist. Erste Ergebnisse solcher Messungen sind in Abbildung 3.46 dargestellt.

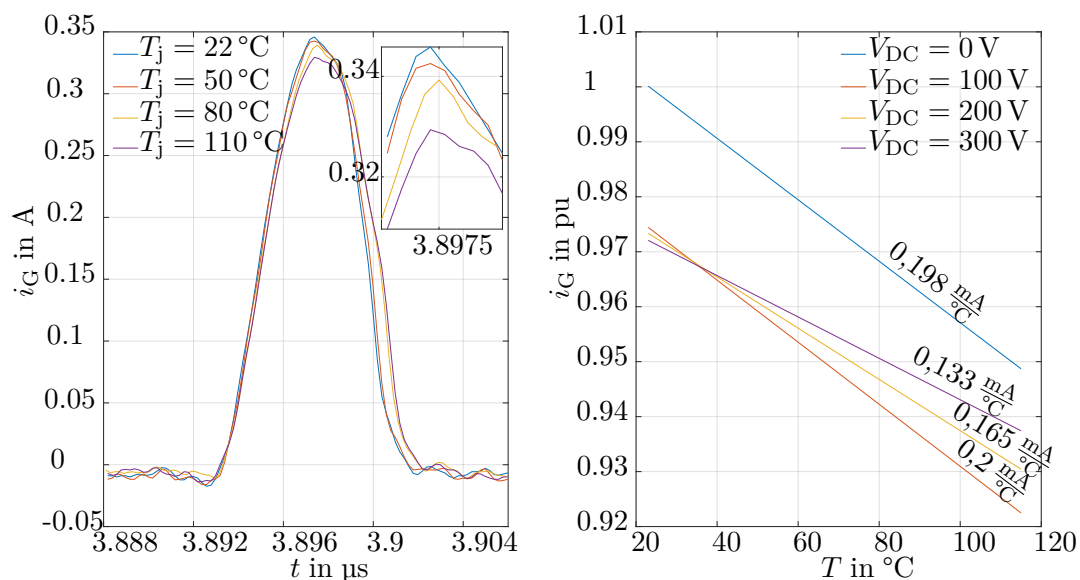


Abbildung 3.46: Gate-Spitzenstrom während des Einschaltens des Prüflings bei $U_z = 300\text{ V}$ (links). Interpolierte und normalisierte Kalibrierungskurven und Zwischenkreisspannungsabhängigkeit mit den dazugehörigen Temperatursensitivitäten (rechts)

Diese wurden mittels linearer Näherung zu Temperaturkalibrierkurven für vier verschiedene Zwischenkreisspannungen zusammengefasst. Somit kann über die Kalibrierkurven im Betrieb ein Rückschluss auf die Sperrschichttemperatur des Transistors gezogen werden, wobei der Einfluss der Zwischenkreisspannung zu untersuchen bleibt.

Projekt GridBatt – Übertragungsfunktion Netz-Umrichter-Batterie²⁷

Batterie-Energiespeichersysteme (BESS) können im elektrischen Netz mit einem wachsenden Anteil an Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen sehr schnell reagieren und damit zur

²⁷von M. Sc. Anton Chupryn

Netzstabilität beitragen. Im Projekt GridBatt werden detaillierte Simulationen auf Systemebene vorgenommen, um die Auslegung und den Betrieb von Netz, Stromrichter und Batterie zu untersuchen und zu optimieren. Es wird in Kooperation mit Kollegen des Lehrstuhls Elektrische Netze und Erneuerbare Energie bzw. des Fachgebiets für Elektrische Energiespeichersysteme, der TU Clausthal und des Fraunhofer IISB Freiberg bearbeitet.

Das erstellte Modell ermöglicht es, Ereignisse in einem Beispielnetz – z. B. dreiphasige Kurzschlüsse oder plötzliche Laständerungen – zu simulieren, die Auswirkungen dieser Ereignisse auf die Batterie zu untersuchen und den Betrieb des Wechselrichters durch Änderung der Parameter des Regelsystems zu modifizieren. In Abbildung 3.47 ist die Reaktion des BESS auf eine Frequenzänderung im Netz dargestellt. Die Frequenzänderung wird durch eine plötzliche Laständerung von 5,8 MVA verursacht und durch die Einspeisung von sechs parallelen 1 MVA-Umrichtern teilweise kompensiert.

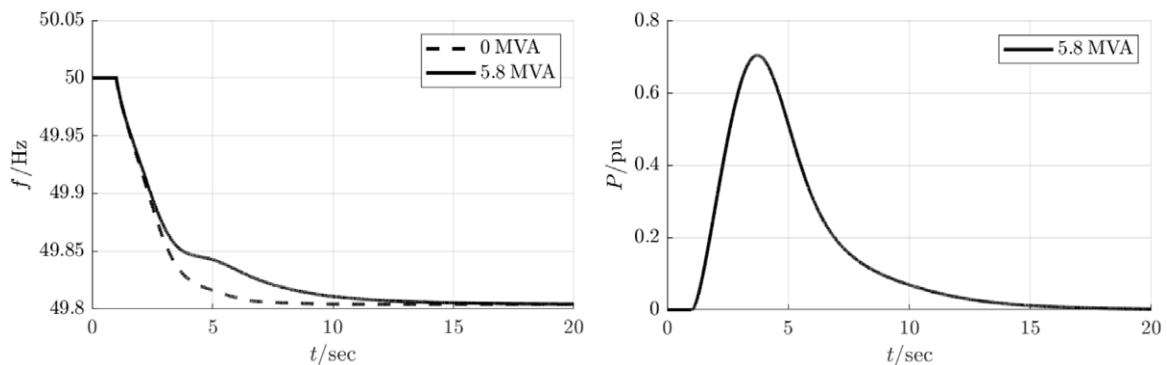


Abbildung 3.47: Frequenzgang während eine Laständerung mit und ohne BESS-Kompensation (links) und die entsprechende Wirkleistungsverlauf von einem 1 MVA-Umrichter (rechts)

Im Rahmen des Projekts wurden zudem weitere Übertragungsfunktionen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad erstellt, um verschiedene Aspekte des Systems zu untersuchen.

3.4.3 Promotionen

Dr.-Ing. Florian Pribahsnik: GaN Specific Mechanical Phenomena and Their Influence on Reliability in Power HEMT Operation

Gutachter:

- Prof. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Heinz Pettermann, Technische Universität Wien

verteidigt am 10. Februar 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

In den letzten Jahren ist Galliumnitrid (GaN) auf dem Markt für Leistungsbaulemente in größerem Maßstab angekommen, wodurch die Notwendigkeit eines tieferen Verständnisses der grundlegenden Interaktionen im Chip notwendig geworden ist. Umfangreiche Forschung wurde auf dem Gebiet der elektrischen Effekte durchgeführt, da dort die wichtigsten Unterschiede gegenüber Si liegen. Im Gegensatz zur generellen Forschungsrichtung fokussiert sich diese Arbeit auf neue mechanische und thermo-mechanische Phänomene, die bisher in Si-Bauteilen nicht vorhanden waren.

In Kapitel 3 wird die Wechselwirkung von mechanischer Spannung, Temperatur und elektrischem Feld besprochen. Die physikalischen Effekte, die diese Zustandsgrößen verbinden, werden im Detail erklärt und es wird gezeigt, welche Effekte aufgrund ihrer Größe sicher vernachlässigt werden können und welche einer näheren Untersuchung bedürfen.

In Kapitel 4 werden die thermischen Fähigkeiten bei massiver thermischer Überlastung, die durch einen Kurzschluss verursacht wird, diskutiert. Der Aufbau zur Beanspruchung der Chips bis zum Ausfall wird vorgestellt. Anschließend werden die ausgefallenen Bauelemente analysiert und die Grundursache mit Hilfe von der FEA und einer umfassenden, detaillierten physikalischen Fehleranalyse erklärt. Zusätzliche Vorschläge für Verbesserungen in diesem speziellen Versagensmodus werden am Ende gegeben.

Kapitel 5 gibt Einblicke in die Resonanzphänomene bei GaN. Da GaN piezoelektrisch ist, kann es als Aktuator fungieren, um den gesamte Chip in Resonanz zu bringen. Dieses Phänomen ist vermessen worden und wird anschließend durch FEA simuliert. Die Simulation wird dann gegen die Messung validiert, um die Richtigkeit der Simulation sicherzustellen. Aus diesen Simulationen werden Schlussfolgerungen bezüglich der Zuverlässigkeit der beiden am meisten gefährdeten Schichten, der GaN-Schicht und Chip-Verbindungsschicht, gezogen. Zusätzlich werden am Ende Extremfälle diskutiert, die einen Ausblick auf kommende Chipgehäuse geben sollen.

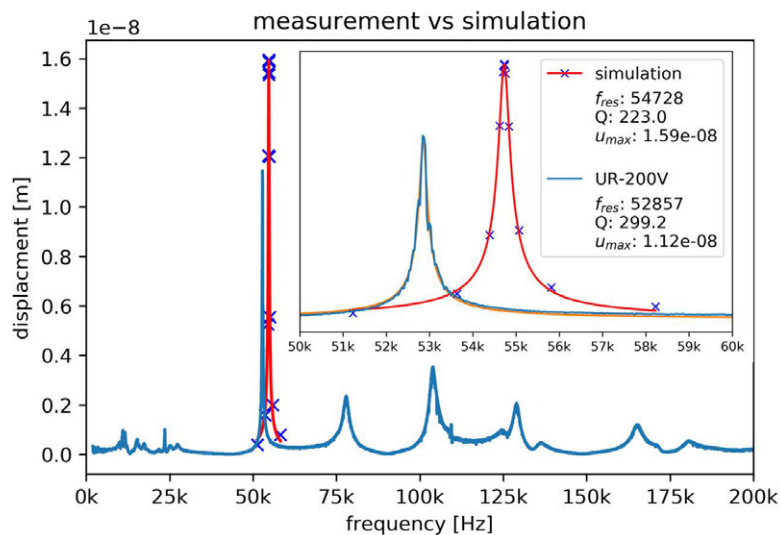


Abbildung 3.48: Oszillation eines TO-220 unter zyklischer elektrischer Belastung

Dr.-Ing. Christian Herold: Methods and results of power cycling tests for semiconductor power devices

Gutachter:

- Prof. Josef Lutz, Technische Universität Chemnitz
- Prof. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Thomas Basler, Technische Universität Chemnitz

verteidigt am 11. Februar 2022 an der Technischen Universität Chemnitz

3.4.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] C. Kempniak und A. Lindemann, „Investigation of long-term drift effects of SiC MOSFETs under power cycling like gate conditions“, in *CIPS 2022; 12th International Conference on Integrated Power Electronics Systems*, 2022, S. 1–6.
- [2] T. Li, C. Voigt, A. Lindemann, E. Erhardt und L. Böttcher, „An Embedded Power Section with GaN HEMTs“, in *CIPS 2022; 12th International Conference on Integrated Power Electronics Systems*, 2022, S. 1–7.
- [3] F. Wilhelmi, Y. Komatsu, S. Yamaguchi, Y. Uchida, R. Nemoto und A. Lindemann, „Packaged β -Ga₂O₃ Schottky Diodes with Reduced Thermal Resistance by Substrate Thinning to 200 μ m“, in *CIPS 2022; 12th International Conference on Integrated Power Electronics Systems*, 2022, S. 1–6.
- [4] F. Wilhelmi, S. Kunori, K. Sasaki, A. Kuramata, Y. Komatsu und A. Lindemann, „Packaged β -Ga₂O₃ Trench MOS Schottky Diode With Nearly Ideal Junction Properties“, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Jg. 37, Nr. 4, S. 3737–3742, 2022. DOI: 10.1109/TPEL.2021.3122902.
- [5] F. Wilhelmi, A. Schmid und A. Lindemann, „Assessment of State-of-the-Art Current Sensors for Fast Switching“, in *PCIM Europe 2022; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, 2022, S. 1–10. DOI: 10.30420/565822158.
- [6] F. Wilhelmi, Y. Komatsu, S. Yamaguchi, Y. Uchida, R. Nemoto und A. Lindemann, „Effect of Substrate Thinning and Junction-Side Cooling on Thermal Properties of Ga₂O₃ Diodes“, in *2022 International Conference on Electronics Packaging (ICEP)*, 2022, S. 145–146. DOI: 10.23919/ICEP55381.2022.9795473.
- [7] A. Schiffmacher, A. Bashiti, D. Strahringer u. a., „New Lifetime Model for Advanced Power Semiconductor Interconnects“, in *2022 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, 2022, S. 473–477. DOI: 10.1109/ECTC51906.2022.00081.
- [8] A. Chupryn, S. Helm, I. Hauer und R. Bengler, „Impact of Battery Energy Storage Systems with Power Electronic Interface at the Grid Connection Point“, in *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2022, S. 1–5. DOI: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916409.
- [9] F. Wilhelmi, S. Heydt, Y. Uchida u. a., „Electrothermal SPICE model for β -Ga₂O₃ Schottky barrier diodes“, in *The 4th International Workshop on Gallium Oxide and Related Materials*, 2022.

Dissertationen und Bücher

- [1] F. Pribahnsnik, *GaN specific mechanical phenomena and their influence on reliability in power HEMT operation* (Res Electricae Magdeburgenses – Magdeburger Forum zur Elektrotechnik), A. Lindemann, G. Rose, R. Vick und M. Wolter, Hrsg. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2022, Bd. 89, ISBN: 978-3948749-17-0. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2022-051.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] C. Kempniak und A. Lindemann, „Langzeit-Drifteffekte von SiC-MOSFETs unter lastwechseltypischen Gate-Bedingungen“, 51. Kolloquium Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung, 2022.

3.5 Institutsebene

3.5.1 Technische Gremien und Verbände

- Prof. Leidhold:
 - VDE- und ETG-Mitglied
 - IEEE Member (Industrial Electronics Society, Industry Applications Society und Power Electronics Society)
- 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
 - * Mitglied des VDE-Ausschusses Studium, Beruf und Gesellschaft
 - * Vorsitzender des Fakultätentages für Elektrotechnik und Informationstechnik e. V.
 - * Vorstandsmitglied der Fakultätentage der Ingenieurwissenschaften und der Informatik an Universitäten e. V. (4ING)
 - Herausgeberschaft, Redaktion
 - * Technical Programme Chair der International Conference on Integrated Power Electronics Systems CIPS, gemeinsam mit Prof. Kaminski
 - * 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
 - * Guest Associate Editor des IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics für die Special Issue on the Design and Testing Methods of Power Electronics Components and Circuits
 - * Mit-Herausgeber der Schriftenreihe „MAGdeburger FORum zur Elektrotechnik/Res Electricae Magdeburgenses“
 - 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
 - * Fachausschuss V2.1/FA7.16 Netzregelung und Systemführung
 - * Joint Degree / IEEE Working Group and Voltage Stability
 - * Vice Chair: Dynamic Security Assessment Working Group, IEEE PES Power Systems Dynamic Performance committee

3.5.2 Kolloquien

Dresdener Kreis²⁸

Am 15. und 16. März fand an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg der Dresdener Kreis 2022 statt. Traditionell treffen an diesen Tagen Forschergruppen der Unis Hannover, Duisburg-Essen, Dresden und Magdeburg zu einer Konferenz zusammen. Folgende Vorträge wurden dieses Jahr in Magdeburg gehalten:

- | | |
|--|--|
| 1. Liebermann, Carlo | Auswirkungen ungünstig verdrillter Leitungen – Optimierung der Verdrillung während der Planung |
| 2. Potyka, Marta | Flexible Parameterizable Grid-Forming Converter Control Based on Direct Voltage Control |
| 3. Maherani, Mahshid | Literaturrecherche zu Netzausbaukonzepten |
| 4. Wöstefeld, Marc und Graeve, Carsten | Systemtechnische Aspekte während des Kohleausstiegs: Relevanz, Dringlichkeit und Schlussfolgerungen für begleitende Analysen |

²⁸von M. Sc. Marc Gebhardt

3 Forschung

5. Wingenfelder, Manuel Kippunktanalyse von vorstädtischen Netzstrukturen hinsichtlich des Integrationspotentials an Ladeinfrastruktur für Elektromobilität
6. Bekker, Iwo Kommunikationslose Sekundärregelung mit netzbildenden Wechselrichtern für den Inselnetzbetrieb
7. Leugers, Christoph Analyse und Abschätzung von Deterministic Frequency Deviations
8. Kashtanov, Artem Application of Graph Theory for Automatic Restoration of Distribution Networks

Ebenso informierte Michael Kranhold von 50Hertz Transmission über das Kundenmanagement eines Übertragungsnetzbetreibers. Am zweiten Tag fand die LENA-Challenge statt, in der Dreierteams gegeneinander das Stromnetz in der Leitwarte des LENA möglichst lange optimal führen sollten. Der abwechslungsreiche Wettkampf brachte folgende Ergebnisse hervor:

1. Platz (24837 Punkte) Pi = 3
2. Platz (24427 Punkte) 404 Name not Found
3. Platz (24321 Punkte) Die Netzretter
4. Platz (22189 Punkte) BeESt
5. Platz (21748 Punkte) State BeEStrider
6. Platz (17434 Punkte) Schwarze Pumpe

Insgesamt war der Dresdener Kreis 2022 erneut eine sehr erfolgreiche Konferenz mit interessanten Vorträgen, guten Gesprächen und regem Austausch. Für die Zukunft ist der Dresdener Kreis 2023 in Hannover geplant. Ein Gruppenfoto ist in Abbildung 3.49 zu sehen.



Abbildung 3.49: Gruppenfoto vom Dresdener Kreis 2022

MATLAB Speaker Series und MATLAB-Anwenderbericht²⁹

In Zusammenarbeit mit MathWorks wurde bei einer MATLAB Speaker Series die Leitwarte und die Kopplung dieser an einen MATLAB-Rechenkern vor Fachpublikum vorgestellt. Mit Hilfe dieser Schnittstelle sollen neue Algorithmen in einem Labormaßstab getestet werden (siehe

²⁹von M. Sc. Eric Glende

Abbildung 3.50). Nach einer anschließenden Validierung kann vereinfacht und schnell eine Implementierung in die Leitwartenumgebung erfolgen und so ein Produkt entstehen. Neben dem Vortrag entstand auch ein Anwenderbericht auf der Homepage von MathWorks³⁰.

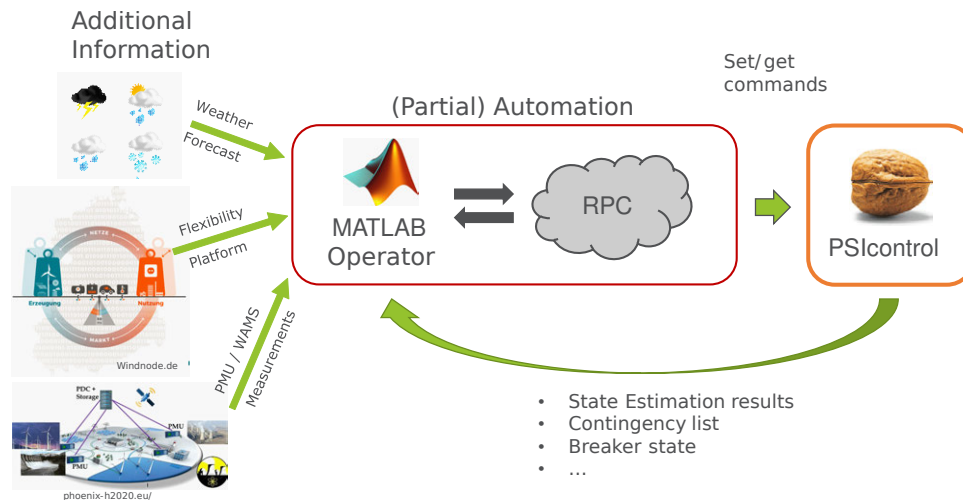


Abbildung 3.50: MATLAB-Schema

LENA auf der POWERCON 2022³¹

Die IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON) wurde 1998 in Peking, China, ins Leben gerufen und hat sich seitdem als erstklassige Konferenz im asiatisch-pazifischen Raum bewährt. Ziel der Konferenz ist es, Elektroingenieuren und Forschern eine Plattform zu bieten, um ihre Arbeiten zu präsentieren und Erfahrungen und Ideen im Bereich der Energietechnik mit Wissenschaftler*innen aus der ganzen Welt auszutauschen. Die alle zwei Jahre stattfindende Tagung fand in diesem Jahr vom 12. bis 14. September in Kuala Lumpur in Malaysia statt (siehe Abbildung 3.51).

Mit dabei war unser Lehrstuhl LENA, vertreten durch Herrn Martin Fritsch, der neue Forschungsergebnisse aus unserem Teilentladungsprojekt präsentieren konnte. Innerhalb dieses Projekts wird an der Verbesserung induktiver Teilentladungssensoren geforscht. Ein wesentliches Problem solcher Sensoren ist auftretende Kernsättigung des ferromagnetischen Materials. Der Vortrag mit dem Titel „An Alternative Method for Dealing with Saturation in High-Frequency Current Transformers“ beschäftigt sich mit Methoden zur Vermeidung dieser Kernsättigung. Das Thema stieß in der Vortragsrunde „Asset Management“ auf Interesse und wurde im Anschluss der Präsentation rege diskutiert. Der Austausch mit den internationalen Kollegen war sehr förderlich.

IEEE PES General Meeting 2022³²

Das IEEE PES General Meeting gehört zu den Flaggschiffkonferenzen und bringt über 1000 Forscher*innen aus dem Bereich der Energietechnik aus aller Welt zusammen. Das diesjährige General Meeting fand vom 17. bis 21. Juli in Denver, USA, statt. Nachdem die Konferenz in den letzten beiden Jahren aufgrund der COVID-19 Pandemie nur virtuell stattfinden konnte, war in dieses Jahr wieder eine Veranstaltung in Präsenz möglich.

³⁰<https://bit.ly/LENAMAT>

³¹von M. Sc. Martin Fritsch

³²von M. Sc. Christian Ziegler



Abbildung 3.51: POWERCON 2022

Herr Christian Ziegler und Prof. Martin Wolter besuchten in diesem Jahr die Konferenz. Herr Christian Ziegler stellte in seinem Vortrag in dem Panel „DSA for IBR Penetrated Power Systems: Challenges and Mitigation Measures“ einen Algorithmus zur schnellen Abschätzung der transienten Stabilität vor. Dieser Algorithmus beruht auf einer Erweiterung des bekannten Flächensatzes zur Ermittlung der Stabilität eines Generators nach Auftreten eines Kurzschlusses im Netz. Herr Christian Ziegler validierte den Algorithmus an einem 9-Knoten-Testnetz vom IEEE. Neben den Paper-Präsentationen konnten unzählige Vorträge in Panel-Sessions zu verschiedenen Themen besucht werden. Ein großer Schwerpunkt in diesem Jahr war die Modellierung sowie Integration von erneuerbaren Energien in das Energieversorgungsnetz.

Forschungsaufenthalt am MIT³³

Von Februar bis Mai war Herr Jonte Dancker zu einem Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA. Ziel des Aufenthalts war eine Potentialanalyse zur Kopplung von Strom- und Gasnetzen in US-amerikanischen Verteilungsnetzen. Hierfür nutzte Herr Dancker, die im Projekt QUEST-IES entwickelte Lastflussberechnungsmethode für integrierte Energiesysteme. Während des viermonatigen Aufenthaltes arbeitete Herr Dancker mit den Forschenden, Promovierenden und Studierenden der MIT Energy Initiative (MITEI) zusammen. Zu dieser Arbeit zählten auch der Besuch einer Konferenz und eines zweitägigen Workshops mit Partnerunternehmen des MITEI. Hierbei konnte Herr Dancker einen sehr guten Einblick in aktuelle und zukünftige Themen im Energiebereich in den USA kennenlernen und aktiv mitdiskutieren. Neben der fachlichen Arbeit und Austausch nutzte Herr Dancker die Zeit um sich mit anderen Gaststudierenden am MIT auszutauschen und den Campus und die Stadt zu erkunden.

ISGT-Europe 2022³⁴

The 12th IEEE PES ISGT Europe 2022 was held in Novi Sad, Serbia, from 10-12 October 2022. The conference is organized by IEEE Power & Energy Society (PES) and Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia. This year's conference theme was „Together Towards Digitized, Decarbonised, and Distributed Smart Grids“. The scope of conference considered

³³von M. Sc. Jonte Dancker

³⁴von M. Sc. Artem Kashtanov

multi- and cross-disciplinary research related to smart grid and grid modernization. The IEEE PES ISGT Europe conference is an IEEE PES flagship conference organized in Europe. It was addressed power grid modernization and the applications for the wide use of information and communication technologies for more intelligent operation of electric power systems and integration of renewable and distributed energy resources.

The IEEE PES ISGT Europe 2022 conference consisted of keynotes, plenary sessions, panels, industry exhibits, paper and poster presentations by worldwide experts on smart grid and related technologies. Researchers, practitioners and students worldwide were invited to submit papers for consideration to be presented at the conference and to discuss the latest trends and emerging and innovative technologies for grid modernization. The representative from the LENA chair this year was M.Sc. Artem Kashtanov. The topic of his presentation was „Application of Graph Theory as a Tool for Reconfiguration of the Distribution Network“.

LENA auf der EEM 2022³⁵

Die 18. internationale Konferenz zum europäischen Energiemarkt (EEM) fand dieses Jahr vom 13. bis 15. September 2022 in Ljubljana, Slowenien, statt. Die EEM ist eine der etablierten internationalen Konferenzen zum Thema Energiemärkte in Europa. Dazu gehören unter anderem Ansätze und Lösungen für Fragen im Zusammenhang mit der Modellierung von Energiesystemen, der Marktgestaltung, der Regulierungspolitik und dem Klimawandel. Die EEM ist eine gemeinsame Plattform für den Austausch von Herausforderungen, Lösungen und Ideen zwischen Vertretern und Forschern aus dem Bereich Energiemarkt.

Der Lehrstuhl LENA wurde durch den Beitrag von Herrn Tahaguas Woldu mit dem Titel „Analysis and Modeling of DFIG-Based Wind Turbines with Variable Frequency Regulation Capability“ vertreten. In diesem Paper werden Windkraftanlagen auf der Basis von Doppelinduktionsgeneratoren (DFIG) mit der Möglichkeit der Frequenzregelung analysiert, um die Netzstabilität zu verbessern. Das vorgeschlagene Frequenzregelungsmodul reguliert die Netzfrequenzänderungen auf Anlagenebene. Der Algorithmus wurde an dem 9-Knoten-Testnetz vom IEEE validiert.

³⁵von M. Sc. Tahaguas Woldu

