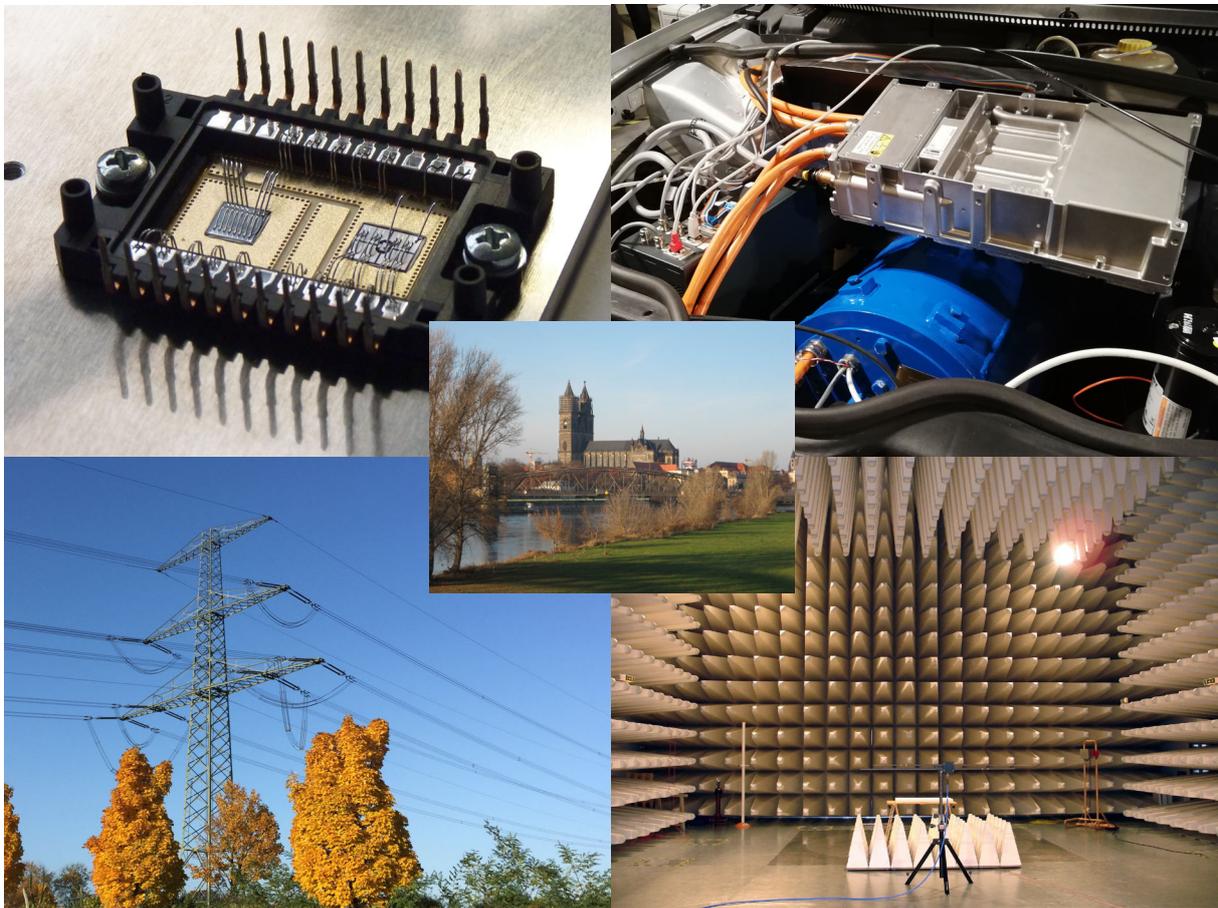


Jahresbericht 2023

der Lehrstühle für

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



FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Jahr 2023 neigt sich dem Ende zu, und so möchten wir Sie mit diesem Jahresbericht wieder über die neuesten Entwicklungen, Lehrveranstaltungen und Forschungsaktivitäten an den Lehrstühlen für „Elektrische Antriebssysteme“, „Elektrische Netze und Erneuerbare Energie“, „Leistungselektronik“ und „Elektromagnetische Verträglichkeit“ informieren.

Auch in diesem Jahr haben wir in zahlreichen Forschungsprojekten Antworten auf die vielfältigen, drängenden Fragen der Energietechnik finden können. Mit GridBatt ist 2023 ein großes BMWK-gefördertes Projekt erfolgreich beendet und mit Unternehmen aus der Region sowie der Landesenergieagentur neue Projekte begonnen worden. Mit großer Spannung blicken wir auf dem Jahr 2024 entgegen, das unter anderem durch EFRE-Förderungen zahlreiche neue und interessante Projekte erwarten lässt.

Der wissenschaftliche Austausch auf Tagungen und Konferenzen fand 2023 wieder in gewohnter Weise statt. Neben Beiträgen zu Wissenschaftsjournalen und hochkarätigen Konferenzen wie dem IEEE PES General Meeting waren wir auch an Organisation einer VDE ETG Fachtagung zur Flexibilisierung des Energiesystems beteiligt. Besonders erfreulich ist auch, dass wir zahlreiche Gastwissenschaftler u. a. aus Brasilien, Äthiopien, der Ukraine und dem Senegal in den Lehrstühlen empfangen konnten und auch ein Gegenbesuch in Äthiopien möglich war.

Darüber hinaus bieten wir in der Lehre weiterhin fakultätsübergreifend über 40 Lehrveranstaltungen an. Die im Jahr 2023 betreuten 21 studentischen Forschungsprojekte, 14 Bachelorarbeiten und 27 Masterarbeiten zeigen, dass die Energieforschung auch weiterhin ein spannendes und nachgefragtes Themenfeld bietet. Darüber hinaus sind im Rahmen des im letzten Jahr gestarteten DSG-2-Programm nun die ersten knapp 40 ukrainischen Studierenden nach Magdeburg gekommen, um ihr Bachelorstudium in einem der Ingenieurstudiengänge zu beginnen.

2023 konnten bisher vier Dissertationen erfolgreich abgeschlossen werden. Henning Vogt und Sebastian Benecke promovierten am Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme, Nicola Könneke am Lehrstuhl für elektrische Netze und Erneuerbare Energie und Carsten Kempniak am Lehrstuhl für Leistungselektronik.

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 BMWK, 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 2024.

Magdeburg, im Dezember 2023

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

Inhaltsverzeichnis

1	Personalia	1
1.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	1
1.1.1	Hochschullehrer	1
1.1.2	Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten	1
1.1.3	Gastwissenschaftler	1
1.1.4	Externe Promovenden	1
1.1.5	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	1
1.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	1
1.2.1	Hochschullehrer	1
1.2.2	Lehrbeauftragte	2
1.2.3	Wissenschaftliche Mitarbeiter	2
1.2.4	Gastwissenschaftler 2023	2
1.2.5	Externe Promovenden	2
1.2.6	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	2
1.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	2
1.3.1	Hochschullehrer	2
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	Lehrbeauftragte	3
1.4.3	Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten	3
1.4.4	Mitarbeiter in Technik und Verwaltung	3
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	11
2.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	12
2.2.1	Lehrveranstaltungen	12
2.2.2	Abgeschlossene Arbeiten	16
2.2.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	16
2.2.4	Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten	16
2.2.5	Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten	17
2.2.6	Praktikantenbetreuung	17
2.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	19
2.3.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	19
2.3.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	23

2.3.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	26
2.3.4	Abgeschlossene Bachelorarbeiten	27
2.3.5	Abgeschlossene Masterarbeiten	27
2.3.6	Auszeichnungen	28
2.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	29
2.4.1	Lehrveranstaltungen für Bachelor-Studiengänge	29
2.4.2	Lehrveranstaltungen für Master-Studiengänge	31
2.4.3	Abgeschlossene Forschungsprojekte	33
2.4.4	Abgeschlossene Bachelorarbeiten	33
2.4.5	Abgeschlossene Masterarbeiten	34
2.5	Institutsebene	35
2.5.1	Internationale Hochschulkooperationen	35
2.5.2	Aktivitäten in Verbänden	36
2.5.3	Exkursionen	39
2.5.4	Studienwerbung	39
3	Forschung	47
3.1	Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme	47
3.1.1	Forschungsprofil	47
3.1.2	Forschungsprojekte	49
3.1.3	Promotionen	58
3.1.4	Veröffentlichungen	62
3.2	Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie	63
3.2.1	Forschungsprofil	63
3.2.2	Forschungsprojekte	63
3.2.3	Promotionen	67
3.2.4	Veröffentlichungen	72
3.3	Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit	74
3.3.1	Forschungsprofil	74
3.3.2	Forschungsprojekte	75
3.3.3	Promotionen	83
3.3.4	Veröffentlichungen	83
3.4	Lehrstuhl für Leistungselektronik	87
3.4.1	Forschungsprofil	87
3.4.2	Forschungsprojekte	87
3.4.3	Promotionen	93
3.4.4	Veröffentlichungen	94
3.5	Institutsebene	96
3.5.1	Technische Gremien und Verbände	96
3.5.2	Kooperationen	97
3.5.3	Technische Gremien und Verbände	100
3.5.4	Kolloquien	101
3.5.5	Konferenzen	104

1 Personalia

1.1 Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme

1.1.1 Hochschullehrer

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

1.1.2 Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten

- M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh
- Dipl.-Ing. Andreas Bannack (bis 30.09.2023)
- Dr.-Ing. Andreas Gerlach (bis 15.10.2023)
- M. Sc. Sebastian Hieke
- Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt
(Mitglied des Vorstandes des Instituts für elektrische Energiesysteme)
- Dr.-Ing. Mario Stamann
- Dr.-Ing. Zhao Zhao

1.1.3 Gastwissenschaftler

- Danylo Kaluhin, Erasmus (PhD), Universität Kiew
- Zenachew Muluneh Hailemariam, Adama Science and Technology University, Äthiopien
- Adisu Teshale Afeta, Adama Science and Technology University, Äthiopien

1.1.4 Externe Promovenden

- Johannes M. Schäfer, Volkswagen AG, Konzernforschung

1.1.5 Mitarbeiter in Technik und Verwaltung

- Andrea Wohner (Sekretärin)

1.2 Lehrstuhl Elektrische Netze und Erneuerbare Energie

1.2.1 Hochschullehrer

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
(Lehrstuhlleiter)

1.2.2 Lehrbeauftragte

- Prof. dr. hab. inż. Dr.-Ing. E. h. Waldemar Rebizant, TU Wrocław, Polen: Digitale Schutztechnik
- Dr.-Ing. André Richter, Volkswagen Aktiengesellschaft Wolfsburg

1.2.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter

- M. Sc. Martin Fritsch
- M. Sc. Marc Gebhardt
- M. Sc. Eric Glende
- M. Sc. Artem Kashtanov
- Dr.-Ing. Nicola Köneke (bis 31.03.2023)
- M. Sc. Maja Maletz (seit 01.05.2023)
- M. Sc. Mauro Dos Santos Ortiz (seit 01.08.2023)
- M. Sc. Christoph Sauer (seit 01.10.2023)
- Dr.-Ing. Tahaguas Woldu (bis 30.11.2023)

1.2.4 Gastwissenschaftler 2023

- Dr. Denys Meshkov, NTU „KhPI“, Charkiw, Ukraine
- Hanna Prytychenko, NTU „KhPI“, Charkiw, Ukraine
- M. Sc. Ndeye Khady Diop Dieng, Universite Cheikh Anta Diop De Dakar, Senegal
- M. Sc. Renata Lautert, Federal University of Santa Maria (USFM), Brasil
- M. Sc. Eng. Gabriel Cocco Maier, GEPOC (UFSC), Brasil

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.-Ing. Moustafa Raya (Austritt 31.08.2023)
- M. Sc. Benjamin Hoepfner
- 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 Lehrbeauftragte

- Dr.-Ing. Folkhart Grieger, IAV GmbH Gifhorn

1.4.3 Wissenschaftliche Mitarbeiter/Stipendiaten

- Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin (bis Januar 2023)
- Dr.-Ing Carsten Kempiak
- M. Sc. Kevin Ladentin
- M. Sc. Tianyu Li
- M. Sc. Wenwen Yang

1.4.4 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 (Bereichsleiter Elektronik/Elektrik)
- Dominic Lücke
- Fabian Wächter

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

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 dynamisches Verhalten der Arbeitsmaschinen
- Modell der Gleichstrommaschine
- Drehmomentregelung
- Raumzeigerdarstellung zur Analyse von Drehfeldmaschinen
- Modell der permanentenerregten 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

- 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

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)

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. Robin Bertko: Einfluss des Motorgewichts auf den Energieverbrauch eines Elektrofahrzeuges
2. Pavlo Dosyhn: Raumzeigerdarstellung mittels MATLAB App Designer
3. Kevin Koehn: Entwurf einer geregelten Stromquelle zur Bestimmung magnetischer Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe
4. Christoph Dolg: Automatische Codegenerierung zur Mikrocontrollerbasierten Regelung elektrischer Maschinen mit MATLAB Simulink
5. Saed Abushawish: Messung und Verifikation einer elektromotorischen Kraft eines PSM-Kleinantriebes mit Compound-Rotormagnetring
6. Mohammad Khosravani: Modelling and Control of the Doubly Feed Induction Generator (DFIG)

2.1.5 Abgeschlossene Bachelorarbeiten

1. Oleksii Sasin: Implementierung eines CANopen-basierten Steuerungskonzeptes für einen geteilten Transversalflussgenerator
2. Thomas Götz: Entwicklung und Simulation einer feldorientierten Regelung für einen zweiphasigen bipolaren Schrittmotor
3. Leonard Hasler: Konzeptentwurf zum autonomen Fahren
4. Mahmoud Jahjah: Aufbau eines SIC-MOSFET-Stacks
5. Haytham Darawish: Auslegung einer Prozessfehlererkennung auf der Basis der Prozessstromänderungsrate

2.1.6 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Sarmad Naveed: Development of a Sensor Concept for Mecanum-Based Vehicles
2. Kevin Koehn: Aufbau einer Prüfstandsregelung

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: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
P 1 SWS: M. Sc. Marc Gebhardt
M. Sc. Eric Glende

- 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

Methoden der Optimierung elektrischer Energieversorgungsnetze

— Optimization Methods for Electrical Grids —

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

- 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: Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter
Ü 1 SWS: M. Sc. Marc Gebhardt

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

Regenerative Elektroenergiequellen - Systembetrachtung

— Renewable Energy Sources —

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

- 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: Dr.-Ing. André Richter
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. André Richter

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

Power Network Planning and Operation

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

- 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: M. Sc. Eric Glende
Ü 1 SWS: M. Sc. Eric Glende

- 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. inz. 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. Serhii Zhuravlov: Dynamische Modellierung von HGÜ-Systemen
2. Vladyslav Duchenko: Kurative Maßnahmen von HGÜ-Systemen
3. Joachim Wanke: Erstellung eines Netzmodells mit Open-Source-Daten
4. Christoph Andres: Vorarbeiten zur Entwicklung eines Energieversorgungssystems für einen Teilentladungssensor
5. Klara Uhlig: Auswertung des Messsignals eines Teilentladungssensors
6. Ismail Aminu Sani: Review on Power System Static Security Assessment (SSA) and Dynamic Security Assessments (DSA)
7. Fabian Meyer: Phasenschiebertransformatoren im europäischen Verbundnetz
8. Dmitri Poznyak: Optimization of Solar-Wind Hybrid System for Power Generation
9. Radwan El-Maalem: Nutzenbewertung von Informationen im Energiesystem
10. Vaishnavi Ramesh Nair: A Comparative Review of Grid-Following and Grid-Forming Control Schemes for Inverter-Based Power Generation

2.2.4 Abgeschlossene Bachelor- und Studienarbeiten

1. Danielle Nodom: Momentanreserve im europäischen Verbundsystem
2. Klara Uhlig: Vergleich verschiedener Methoden zur Sättigungsvermeidung bei Hochfrequenz-Stromwandlern
3. Georg Hintersdorf: Analyse des Lastverschiebungspotentials in Niederspannungsnetzen zur Bereitstellung von Flexibilität
4. Julian Reek: Modell zur Abschätzung des Bedarfs an Reservekraftwerken
5. Bennett Sattler: Review zur Beobachtbarkeitsanalyse im elektrischen Netz

2.2.5 Abgeschlossene Master- und Diplomarbeiten

1. Xenia Franzke: Netzzustandsidentifikation im Nieder- und Mittelspannungsnetz
2. Omobolaji Oluwajuwon Koyi: Improvement of a Given Approach to Estimate Stability Margins
3. Insaf Ziganshin: Applying Kalman Filters to the State Estimation Problem
4. Robin Patel: Electricity Market Price and Unit Commitment Forecasting
5. Thorben Harzmeyer: Analyse zur medizinischen Nutzung von Elektrolyse-Sauerstoff zur Patientenbeatmung
6. Hari Krishna Kakani: Development of Dynamic Power Generation Scheduling Algorithm for Optimal Operation of Multi-Power Plants
7. Md Habibur Rahman: Automated Generation of Network Images based on Topology Information
8. Andy Sauer: Kostenmodell für die Erfassung von Informationen
9. Sasko Schirmer: Entwicklung zellulärer Lastflexibilisierungsmechanismen in Haushalten
10. Christoph Sauer: Regulatorische Gestaltung und Simulation eines Marktes für Momentanreserve in einem stromrichterdominierten Energiesystem
11. Sina Kirchhof: Einsatz von Phasenschiebertransformatoren zur kurativen Behebung von Engpässen auf Doppelleitungssystemen
12. Tadikonda Balaramakrishna: Implementation of a PV System and Studying its Dynamic Behavior
13. Nitya Karampudi: Insulation Coordination Considering Switching Overvoltage Waveforms
14. Chandra Karanam: Energy Prediction Using Artificial Intelligence for Solar and Wind Power
15. Rishi Yogeshkumar Khamniwala: Implementation of an Induction Motor Model and Studying its Dynamic Behavior
16. Iuliana Belova: Application of PMUs for Dynamic State Estimation

2.2.6 Praktikantenbetreuung

Schülerpraktika 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?

¹M. Sc. Martin Fritsch

2 Studium und Lehre

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.

Tabelle 2.1: Schulpraktikanten des Jahres 2023

Name	Schule	Zeitraum
Lukas Offenhausen	Domgymnasium Magdeburg	23.01 – 27.01.2023
Paul Jannis Thieme	Rolandgymnasium Burg	21.08 – 01.09.2023

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 (LEGO Mindstorms)

Im Projektseminar Elektrotechnik/Informationstechnik dreht sich für die teilnehmenden Bachelor-Studierenden aus den Studiengängen „Elektrotechnik und Informationstechnik“ sowie „Elektromobilität“ für etwa zwei Wochen alles um das Thema LEGO Mindstorms. Mit diesem Baukastensystem aus einer programmierbaren Einheit, Motoren, Wellen, Zahnrädern, Kettenantrieben und verschiedenen Sensoren für Licht, Druck, Lautstärke oder Farbe sowie den klassischen LEGO-Technik-Bausteinen bauen die Studierenden dann allein oder in Zweiergruppen kleine selbstentworfenen Roboter, die eine mehr oder weniger sinnvolle, aber in jedem Fall kreative Aufgabe erfüllen. Nebenbei lernen die Studierenden sehr viel über die Programmierung in MATLAB, Schleifen, Funktionen, grafische Benutzeroberflächen, hilfreiche Algorithmen und passende Datenstrukturen. Da kein Programm auf Anhieb perfekt funktioniert, steht auch die Fehlersuche und Fehlerbehebung durch die gemeinsame Analyse von Quelltexten sowie die Optimierung der mechanischen Konstruktionen im Fokus der zu entwickelnden fachlichen Kompetenzen.

Nebenbei erwerben die Studierenden auch außerfachliche Kompetenzen im Zeit- und Projektmanagement sowie im Präsentieren eigener Ideen. Im Seminarverlauf gibt es neben den Kick-Off- und Zwischenpräsentationen auch die finalen Abschlusspräsentationen, die in diesem Jahr erneut als Live-Stream auf Twitch übertragen wurden (siehe Abbildung 2.1) und weiterhin als Aufzeichnung bei YouTube verfügbar sind.

In diesem Jahr wurden von den Studierenden folgende Ideen entwickelt:

- Sockensortierer
- Getränkeautomat
- Auto mit Hinderniserkennung
- Bogenschütze
- Balancierroboter
- Sortiermaschine mit Klappen
- Automatischer Seifenspender
- Lightpainting-Roboter 2.0

Dabei tüftelten, konstruierten und optimierten die Studierenden ihre Roboter, Automaten und Maschinen zum Teil von zu Hause aus, zum Teil in einem Computerlabor im Universitätsrechenzentrum. Da die Studierenden sich nicht alle in der Universität sehen konnten, fanden die gegenseitige Vernetzung und das Zeigen von Zwischenergebnissen in diesem Jahr wieder über die sozialen Netzwerke statt. Eine Übersicht der studentischen Aktivitäten bei Instagram sind in der Box Gruppenübersicht zu finden.

Zur Vernetzung wurde dabei der Hashtag #LEGOPraktikum2023 genutzt.

Instagram: <https://www.instagram.com/explore/tags/legopraktikum2023/>

Twitter: <https://twitter.com/hashtag/LEGOPraktikum2023>



Abbildung 2.1: Zwei Studenten präsentieren ihr selbstfahrendes Fahrzeug bei der Abschlusspräsentation des Projektseminars Elektrotechnik/Informationstechnik (LEGO Mindstorms), die auch als Livestream im Internet übertragen wurden (Foto: Hannah Theile, OVGU)

Einige Demonstrations-Videos der studentischen Entwicklungen und Prototypen sowie die Aufzeichnung der Abschlusspräsentationen sind auch in einer YouTube-Playlist (<https://bit.ly/LegoPraktikum2023>) verfügbar.

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

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
- 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 weiterführende 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.

Teilnahme an der „International Week“ an der IUT Angers-Cholet in Frankreich

Vom 22. bis 26. Mai fand die „International Week“ als etabliertes internationales Austauschformat an der IUT Angers-Cholet in Frankreich statt, die auch eine der neun EU-GREEN-Partneruniversitäten der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ist. Neben Dr.-Ing. Mathias Magdowski vom Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit nahmen auch weitere Kolleg*innen der OVGU an dem Austauschprogramm teil, das die Möglichkeit bot, mit vielen neuen und interessanten internationalen Kolleg*innen zu diskutieren, interessante Vorträge über Nachhaltigkeit zu hören und die schöne Stadt Angers in Frankreich kennenzulernen.

Als Lehrveranstaltung bot Dr.-Ing. Mathias Magdowski einen Kurs zum Thema „Electromagnetic Compatibility Measurements in Reverberation Chambers“ (siehe die Aufzeichnung unter <https://youtu.be/DSyCTzcm7EQ>) für acht kleine Gruppen von sehr freundlichen französischen Studierenden an (siehe Abbildung 2.2). Außerdem informierte Dr.-Ing. Mathias Magdowski die Studierenden der IUT Angers bei einer Studieninformationsmesse über die Studienmöglichkeit an der OVGU im Rahmen von Auslandssemestern.



Abbildung 2.2: Impressionen von der „International Week“ an der IUT Angers-Cholet in Frankreich

Austausch mit dem SCE Sami Shamoon College of Engineering in Be'er Sheva und Ashdod in Israel

Vom 18. bis 27. Juni 2023 nahmen Dr.-Ing. Mathias Magdowski und einige weitere Kolleg*innen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg an einem internationalen Austausch am SCE Sami Shamoon College of Engineering in Be'er Sheva und Ashdod in Israel teil, wo sie sehr motivierte Studierendengruppen beim einem Hackathon betreuten, viele interessante Poster- und Vortragspräsentationen von Studentenprojekten begutachteten, Mini-Vorlesungen über ihre Forschungsgebiete hielten und viele andere Möglichkeiten für zukünftige Austauschprogramme in Lehre und Forschung mit den Kolleg*innen vor Ort diskutierten (siehe Abbildung 2.3). Dr.-Ing. Mathias Magdowski hielt dabei an jedem Standort jeweils einen Vortrag zum Thema „Electromagnetic Compatibility for Renewable Energy Systems“. Für die Gruppe gab es auch die Möglichkeit, an einer einzigartigen Tour zum Toten Meer sowie an ausgezeichneten Führungen durch die wunderschönen Städte Jerusalem und Tel Aviv teilzunehmen.

2.3.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Haytham Darawish: Entwurf und Simulation einer antipodischen Vivaldi-Antenne für Ultrabreitband-Anwendungen
2. Johann Daniel Graubner: Bestimmung der optimalen Polynomordnung des Vector-Fitting-Algorithmus
3. Mahmoud Jahjah: Schnelle Berechnung und Darstellung der elektromagnetischen Abstrahlung mehrerer zufällig orientierter Hertzscher Dipole
4. Saad Al-Hamid: Untersuchung des elektromagnetischen Abschirmverhaltens eines Standard 19-Zoll-Gehäuses mit Hilfe verschiedener Messverfahren



Abbildung 2.3: Kolleg*innen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am SCE Sami Shammoo College of Engineering in Be'er Sheva in Israel

2.3.4 Abgeschlossene Bachelorarbeiten

1. Konstantin Bredenfeld: Schnelle E-Feldmessungen mit lasergespeisten Feldsonden in Modenverwirbelungskammern
2. Mohamad Raya: Untersuchung von strahlenden Kabeln als Empfangsantennen bei Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 18 GHz bis 40 GHz
3. Oliver Neubauer: Charakterisierung des hochfrequenten Verhaltens mechanischer Verbindungselemente in Fahrzeugen

2.3.5 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Akshat Parasher: Simulation of a Measuring Adapter for the Determination of the Dielectric Properties of Clay Samples
2. Renat Ibragimov: Analysis of the Transient Shielding Efficiency According to Schelkunoff
3. Jonas Bindernagel: Optimierung im Hinblick auf die MR-Kompatibilität eines Demonstrators für die irreversible Elektroporation
4. Bodo Gambal: Entwicklung eines Grenzwerts für die Emission von externen Therapiegeräten in der MR-Umgebung
5. Megha Shyam Bijjam: Determination of the Dependence of Electromagnetic Permittivity on Water Content

2.3.6 Auszeichnungen

Die Bachelorarbeit „Schnelle E-Feldmessungen mit lasergespeisten Feldsonden in Modenverwirbelungskammern“ von Konstantin Bredenfeld wurde mit dem „2023 Best-Bachelor-Thesis-of-the-Year Award“ des IEEE Germany Section EMC Society Chapters ausgezeichnet (siehe Abbildung 2.4). Die Arbeit entstand in Kooperation mit dem Messtechnik-Hersteller Rohde&Schwarz. Die Preisverleihung fand im Rahmen der Mitgliederversammlung des deutschen Chapters der IEEE EMC Society in Dresden statt.



Abbildung 2.4: B. Sc. Konstantin Bredenfeld (links) als Gewinner des „2023 Best-Bachelor-Thesis-of-the-Year Awards“ zusammen mit seinem Betreuer Dr.-Ing. Mathias Magdowski vom Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit (rechts)

In der Arbeit ging es um die Messung von elektromagnetischen Feldern in einer Modenverwirbelungskammer. Hierfür wurden elektrische Feldsonden mit einer hohen Abtastrate verwendet. Das Ziel war es, einen optimalen Betriebszustand der Modenverwirbelungskammer an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg für einen Betrieb mit kontinuierlicher Änderung der elektromagnetischen Randbedingungen zu finden. Dafür standen zwei unterschiedliche mechanische Modenrührer und ein bewegliches, leitfähiges Textil zur Verfügung. In der Arbeit wurden die Feldhomogenität und -isotropie, die Feldverteilung und die Rührereffektivität berücksichtigt. Zusätzlich wurde eine schnelle kontinuierliche Regelung auf Basis von Feldstatistikparametern durchgeführt und analysiert. Die Ergebnisse helfen, robuste EMV-Störfestigkeitstests in Modenverwirbelungskammern mit hohen Feldstärken deutlich zu beschleunigen, ohne gleichzeitig an statistischer Genauigkeit und Aussagekraft zu verlieren.

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. Carsten Kempiak
	Ü 1 SWS:	Dr.-Ing. Carsten Kempiak
WS	P 1 SWS:	Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin Dr.-Ing. 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
 - ungesteuerte Gleichrichter
 - voll- und halbgesteuerte Brückenschaltungen
- Wechsel- und Drehstromsteller
- Leistungsfaktorkorrektur

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. Carsten Kempiak M. Sc. Kevin Ladentin

- Leistungshalbleiter-Bauelemente:
 - MOSFET
 - IGBT

2 Studium und Lehre

- HEMT
- Diode
- Thyristor

unter besonderer Berücksichtigung von

- Funktionsweise
- statischem und dynamischem Verhalten
- Ausführung – Si, SiC, GaN, ...
- Aufbau- und Verbindungstechnik
- 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
- Dioden
- Bipolar-Transistoren
- Feldeffekt-Transistoren
 - diskrete Bauelemente
 - integrierte Schaltungen
- 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
Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
M. Sc. Kevin Ladentin
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
Dr.-Ing. Carsten Kempik
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Carsten Kempik

- 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

Systeme der Leistungselektronik

— Power Electronic Systems —

WS V 2 SWS: Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann
Dr.-Ing. Carsten Kempik
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Carsten Kempik
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

2 Studium und Lehre

- 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. Carsten Kempiak

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 dem Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme, vgl. Abschnitt 2.1.2

Power Electronics

WS V 2 SWS: Dr.-Ing. Reinhard Döbbelin
Dr.-Ing. Folkhart Grieger
Ü 1 SWS: Dr.-Ing. Carsten Kempiak

- basic self commutated converters — DC choppers
 - buck chopper
 - boost chopper
 - phaseleg
- self-commutated bridges: circuit and control methods
 - H bridge
 - three phase bridge
- mains commutated bridges
 - uncontrolled bridges

- controlled bridges
- half controlled bridges
- AC controllers
- power factor correction

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. Kevin Ladentin

- semiconductors
 - material
 - p-n junction
- diode
 - structure and functional principle
 - characteristics
 - application
- field effect transistor
 - principle
 - JFET
 - MOSFET
- insulated gate bipolar transistor (IGBT)
- high electron mobility transistor (HEMT)
- packaging

2.4.3 Abgeschlossene Forschungsprojekte

1. Martin Damian Cuallo: Simulative and Experimental Investigation of Current Distribution of Paralleled SiC MOSFETs in TO247 Package
2. Asadullah Khan Kaim Khani: Analytical and Simulative Study of Current Distribution Between Parallel SiC MOSFETs
3. Svenja Langer: Untersuchung des Einschaltwiderstands $R_{DS,on}$ bei GaN-HEMTs unter lastwechseltypischen Bedingungen

2.4.4 Abgeschlossene Bachelorarbeiten

1. Robin Kürbis: Sensitivitätsanalyse von Parametern, die zu einer asymmetrischen Stromverteilung zwischen parallelgeschalteten SiC-MOSFETs beitragen
2. Lennart Brehmer: Entwicklung eines Simulationsmodells unter Berücksichtigung des Einflusses von Drifteffekten bei SiC-MOSFETs im Schaltbetrieb

2.4.5 Abgeschlossene Masterarbeiten

1. Florian Aust: Umrichter einer Windenergieanlage
2. Wenjie Bao: GaN-basierter T-Typ-Dreipunkt-Wechselrichter
3. Elisa Sergioli: Entwicklung und Untersuchung eines modularen Hardwarekonzeptes für hochbeschleunigte Schwellspannungsdrifttests für SiC-MOSFETs
4. Rezvan Tahmasebi: Entwicklung einer mikrocontroller-basierten Gatestrom-Spitzenwertmessung zur Bestimmung der Sperrschichttemperatur von GaN-HEMTs

2.5 Institutsebene

2.5.1 Internationale Hochschulkooperationen

Technische Universität Breslau²

Die langjährige Kooperation mit Politechnika Wroclawska wurde auch in diesem Jahr gepflegt: Dozenten des Instituts für Elektrische Energiesysteme (IESY) haben in Breslau die Ringvorlesung „Renewable Energy Sources“ angeboten. Erstmals seit der Pandemie sind auch wieder Studierende aus Breslau im Rahmen des Doppeldiploms zum Studium nach Magdeburg gekommen. Prof. Rebizant aus Breslau bietet in Magdeburg die Lehrveranstaltung „Digital Protection of Power Networks“ an.

Kooperation mit der Ukraine – Doppelabschluss für ukrainische Studierende³

In ihrer Heimat ist seit vielen Monaten Krieg, doch sie möchten studieren – aus der Ukraine geflüchtete Abiturientinnen und Abiturienten. Um ihnen das zu ermöglichen, bietet die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg in Zusammenarbeit mit der Nationalen Technischen Universität in Charkiw seit letztem Wintersemester ein Studienprogramm für Bachelor mit doppeltem Abschluss an. Das vergangene Jahr haben die ukrainischen Studierenden online in Charkiw studiert und fleißig Deutsch gelernt. Zu Beginn dieses Wintersemesters sind sie in Magdeburg angekommen, um ihr Studium hier in Präsenz in einem der Bachelorstudiengänge wie Elektrotechnik, Maschinenbau, Elektromobilität oder Chemieingenieurwesen fortzusetzen.

„Das Programm ist sehr gut angelaufen“, sagt Prof. Martin Wolter, der das Programm gemeinsam mit Dr. Denys Meshov von der NTU Charkiw auf den Weg brachte und Leiter des Instituts für Elektrische Energiesysteme der Universität Magdeburg ist (siehe Abbildung 2.5). „Am Ende haben sich rund 40 Studierende in den drei Ingenieur fakultäten der Universität Magdeburg eingeschrieben. Sie studieren ganz regulär gemeinsam mit ihren deutschen Kommilitoninnen und Kommilitonen in den angebotenen Bachelorstudiengängen. Parallel dazu verbessern sie ihre Deutschkenntnisse.“

Die ukrainischen Studierenden werden ihren Bachelor in Magdeburg absolvieren und können, sobald sie das entsprechende Sprachniveau erreicht haben, auch ihren Master an der Universität Magdeburg ablegen. Da die hier erbrachten Prüfungsleistungen auch in Charkiw anerkannt werden, steht es den Studierenden frei, alternativ das Studium dort zum Master fortzuführen. Am Ende des Studiums können sich die Studierenden über zwei Bachelorabschlüsse freuen – einen von der Universität Magdeburg und einen von der Universität Charkiw.

Damit sich die jungen Menschen an der Universität schnell einleben und in der fremden Stadt wohlfühlen, bekommen sie besondere Unterstützung: „Neben dem neu aufgelegten Studienprogramm für den Bachelor gibt es schon länger das ursprüngliche DSG-Programm mit Doppelabschluss für Masterstudierende.“ In dem Zuge wurde auch ein Büro eingerichtet, in dem Vertreter der beteiligten Fakultäten als administrative Ansprechpartner zur Verfügung stehen. „Zudem gibt es ein Mentoren-Programm, d. h. ukrainische Masterstudierende höherer Semester unterstützen die Bachelorstudierenden beim Einleben und im Alltag. Für die Zukunft ist auch ein Buddy-Programm mit deutschen Studierenden geplant.“, so Prof. Wolter.

Der Koordinator des DSG2-Programms von der NTU Charkiw, Dr. Denys Meshkov, stellt fest: „Die Einführung eines Doppelabschlussprogramms für unsere Universitäten ist nicht nur

²von Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter

³von Dr.-Ing. Denys Meshkov



Abbildung 2.5: Ukrainische Studierende und Prof. Dr.-Ing. habil. M. Wolter im Hörsaal

ein weiterer vielversprechender Bereich unserer langfristigen Zusammenarbeit, sondern eine umfassende Lösung zur Unterstützung ukrainischer Flüchtlinge während des Krieges. Unser Projekt ermöglicht es aktiven, zielstrebigem und motivierten Studierenden, so schnell wie möglich ein Studium an einer deutschen Universität aufzunehmen. Das Studium erfolgt in auf dem Arbeitsmarkt dringend nachgefragten Fachrichtungen, was für die Studierenden einen zusätzlichen Anreiz darstellt. Und schon jetzt können wir feststellen, dass die erfolgreiche Durchführung des DSG2-Projekts im Jahr 2022 zu einem deutlich gestiegenen Interesse von Bewerbern für unser gemeinsames Programm im Jahr 2023 geführt hat.“

Auch in Zukunft soll das Studienprogramm fortgeführt werden, da das Interesse ungebrochen sei (siehe Abbildung 2.6): „Die Anmeldezahlen für das erste Studienjahr in Charkiw liegen knapp unter 200, d. h. das Interesse an dem Programm ist noch weiter gestiegen.“, sagt Prof. Wolter. Eine Dauerlösung werde das Programm allerdings nicht sein, denn es diene laut Prof. Wolter zunächst zur Überbrückung der Kriegssituation: „Sobald in Charkiw wieder regulärer Universitäts-Betrieb möglich ist, wollen wir das Programm in ein ausgewogeneres Doppeldiplom überführen, bei dem die Studierenden den Großteil der Vorlesung an ihrer Heimatuniversität hören.“

2.5.2 Aktivitäten in Verbänden

IEEE Student Branch Magdeburg⁴

Auch in diesem Jahr organisierte die IEEE Student Branch Magdeburg wieder einige Veranstaltungen, in denen sich die Studierenden vernetzen, das Gelernte in Anwendungssituationen vertiefen und Unterhaltungen mit Ingenieurinnen und Ingenieuren aus der Praxis führen konnten. Neben den traditionellen Workshops, Exkursionen, und weiteren Veranstaltungen waren das landesweite Treffen einiger Student Branches und die 60-Jahr-Feier der IEEE Germany Section zusätzliche Highlights des Jahres.

⁴von B. Sc. Philipp Herwig



Abbildung 2.6: Ukrainische Studierende, Prof. Dr.-Ing. habil. M. Wolter, Dr.-Ing. Denys Meshkov und weitere Lehrende

Landesweites Treffen der IEEE Student Branches Zum Auftakt der diesjährigen Veranstaltungen war das landesweite Treffen der IEEE Student Branches an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg (siehe Abbildung 2.7a). Vertreter*innen der IEEE Student Branches aus Ilmenau, Chemnitz, Hamburg-Harburg, Bielefeld, Karlsruhe und Magdeburg waren anwesend, um ihre Erfahrungen und Ideen auszutauschen. Sie diskutierten ihre bereits durchgeführten und geplanten Veranstaltungen und erkundeten Möglichkeiten der Zusammenarbeit und Unterstützung untereinander.

Im Anschluss daran gab es eine Führung durch verschiedene Labore der Otto-von-Guericke-Universität, die von Mitgliedern der IEEE Student Branch Magdeburg geleitet wurde. Diese Führung bot den Teilnehmenden die Möglichkeit, Einblicke in die Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Universität zu erhalten und Fragen zu den entsprechenden Themengebieten zu stellen. Der Abend wurde mit einem gemeinsamen Abendessen abgeschlossen, bei dem die Teilnehmenden die Gelegenheit hatten, sich in informeller Atmosphäre weiter auszutauschen und neue Kontakte zu knüpfen.

Besuch des K+S Kaliwerk in Zielitz Die Führung durch das K+S Kaliwerk in Zielitz bot einer Gruppe von ca. 15 Teilnehmenden einen faszinierenden Einblick in den Kaliabbau sowie in die industrielle Geschichte der Region (siehe Abbildung 2.7b). Unter der fachkundigen Leitung erfahrener Bergleute erkundeten die Teilnehmenden labyrinthartige Tunnel und erhielten detaillierte Informationen über den Bergbau, die Technologien und die damit verbundenen Herausforderungen.

Die Besichtigung ermöglichte einen einzigartigen Einblick in diese Industrie und vermittelte einen tiefen Respekt für die Arbeit der Bergleute sowie für die Bedeutung des Kaliabbaus für die Region. Ein gemeinsames Mittagessen bei K+S ermöglichte den Teilnehmenden letzte offene Fragen in angenehmer Atmosphäre diskutieren zu können und bildete den Abschluss einer gelungenen Exkursion.



(a) Landesweites Treffen der IEEE Student Branches



(b) Besuch des K+S Kaliwerks in Zielitz

Abbildung 2.7: Eindrücke aus den Veranstaltungen der IEEE Student Branch Magdeburg (Teil 1)

Technical Talks Auch in diesem Jahr lieferten die Technical Talks einen tollen Einblick in die Arbeitswelt nach dem Studium und boten eine fantastische Grundlage zum Netzwerken und zum Austausch zwischen den Studierenden und den Vortragenden (siehe Abbildung 2.8a).

Mit den Vortragenden Thomas Schulz und Carsten Bethge von der Firma K+S, Konrad Schulze von Wandelbots GmbH, Martin Kirst und Richard Hermann von der Polarith GmbH sowie Prof. Dr.-Ing. Marcel Benecke von der Hochschule Magdeburg-Stendal wurde ein breites Spektrum an Themengebieten und späteren Berufszweigen abgedeckt, sodass die Studierenden von den vielen unterschiedlichen Eindrücken, Aufgabenbereichen, Schwierigkeiten und persönlichen Erfahrungen aus der Arbeitswelt der Vortragenden profitieren konnten.

Nach den Vorträgen wurde ein gemeinsames Grillen veranstaltet, bei dem auch die Vortragenden anwesend waren. Dies bot den Teilnehmenden die Möglichkeit, sich weiter auszutauschen, Fragen zu stellen und wertvolle Kontakte zu knüpfen.

IEEE Sommerparty In diesem Jahr feierte die IEEE Sommerparty auf dem Forschungscampus STIMULATE im Wissenschaftshafen ihre Premiere. In angenehmer Atmosphäre, bei leckerem Essen vom Grill und einem kühlen Getränk konnten die Studierenden den Stress des Sommersemesters für einen kurzen Moment vergessen. Es wurde zu guter Musik gefeiert und die ausgelassene Stimmung bot eine gute Möglichkeit zum Austausch.

60-Jahr-Feier der IEEE Germany Section Am 26. September 2023 fand in Berlin die IEEE Germany Section 60-Jahr-Feier statt. Das Programm umfasste den Stratosphärenflug einer Videosonde, eine Vollversammlung und eine Abendveranstaltung, bei der der Award für die beste IEEE Student Branch 2022 der Germany Section, an die IEEE Student Branch der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg vergeben wurde (siehe Abbildung 2.8b).

bIEEEr-Reinlötkurs Auch in diesem Jahr ging der IEEE-bIEEEr-Reinlötkurs in eine weitere Verlängerung. Mit leckerem Gegrillten, einem Live-DJ, und Freigetränken aus unseren IEEE-bIEEEr-Reinlötkursbechern stand nichts im Weg, um den Start in das neue Wintersemester gebührend feiern zu können.



(a) Technical Talks

(b) 60-Jahr-Feier der IEEE Germany Section

Abbildung 2.8: Eindrücke aus den Veranstaltungen der IEEE Student Branch Magdeburg (Teil 2)

VDE-Hochschulgruppe Magdeburg⁵

Dank der Kooperation mit dem VDE Bezirksverband Magdeburg fand 2023 unter anderem die Exkursion nach Wolmirstedt statt, wo das Umspannwerk besichtigt wurde. Darüber hinaus standen den Mitgliedern die Möglichkeit der Teilnahme an VDE-Veranstaltungen offen.

2.5.3 Exkursionen

Exkursion in das Umspannwerk Wolmirstedt⁶

Am 18.04.2023 waren wieder Studierende und Mitarbeitende der Otto-von-Guericke-Universität eingeladen, das Umspannwerk Wolmirstedt zu besuchen. Zwei Stunden lang wurden die Geschichte des Umspannwerkes, aktuelle und zukünftige Pläne sowie der Betrieb des Umspannwerkes erläutert. Ein wichtiger Punkt im Gespräch mit den Mitarbeitern des Umspannwerkes war die Diskussion über die Inbetriebnahme von HGÜ-Systemen im Umspannwerk Wolmirstedt. Außerdem wurden die Gäste durch die wichtigsten Punkte des Umspannwerkes, wie die Schaltanlage, die Automatisierungs- und Relaischutzzentrale und die Transformatoren geführt. Die Studierenden konnten die in der Vorlesung behandelten Elemente in der Praxis sehen, hören und sogar unter den wachsamen Augen der Mitarbeiter des Umspannwerkes anfassen. In Abbildung 2.9 sind alle Teilnehmenden der Exkursion aufgezeigt.

2.5.4 Studienwerbung

Schüler*innen-Praktikum zu den Grundlagen der Elektrotechnik⁷

Wie misst man Strom, Spannung, Widerstand und Leistung? Wie benutzt man ein Digitalspeicheroszilloskop? Wie verhalten sich Halbleiterbauelemente wie Dioden? Was passiert bei Wechselstrom an Spulen und Kondensatoren? Diesen und weiteren Fragen sind 16 Schüler*innen vom Dathe-Gymnasium aus Berlin-Friedrichshain in einem Schnupper-Laborpraktikum zu den Grundlagen der Elektrotechnik nachgegangen. Die Laborversuche fanden unter studentischer

⁵ von M. Sc. Marc Gebhardt

⁶ von M. Sc. Eric Glende

⁷ von Dipl.-Ing. Marco Schwerdtfeger und Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.9: Teilnehmende der Exkursion in das Umspannwerk Wolmirstedt

Anleitung am Donnerstag, den 09. März 2023 im Rahmen des „Lehrpfads Elektrotechnik und Informationstechnik“ statt (siehe Abbildung 2.10).

In Dreiergruppen experimentierten die Schüler*innen zu den Themen:

- Kennlinien von Diode und Z-Diode
- Elektrische Bauelemente und einfache elektrische Schaltungen, untersuchen, verstehen, anwenden
- Experimentelle Untersuchung von Wechselstromwiderständen

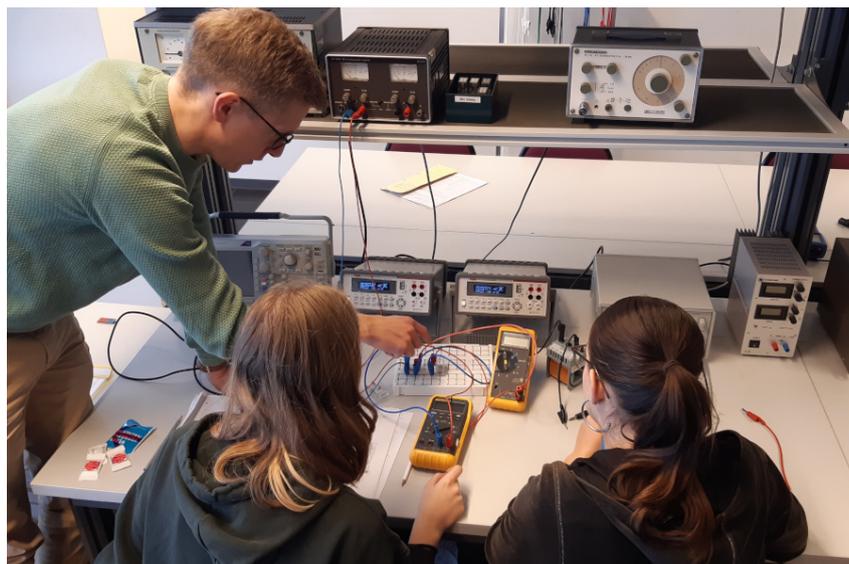


Abbildung 2.10: Schüler*innen des Dathe-Gymnasium aus Berlin-Friedrichshain experimentieren an der OVGU im Rahmen eines Schnupper-Laborpraktikums zu den Grundlagen der Elektrotechnik (Foto: Marco Schwerdtfeger)

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

Neben den elektrotechnischen Experimenten wurden auch Informationen zum Studieren an der OVGU gegeben, so dass vielleicht in ein paar Jahren einige der jetzigen Schüler*innen selbst als Studierende ein solches Schnupperpraktikum betreuen werden. Über die Flyer und Give Aways ist der Weg zu den hochwertig erstellten Informationsseiten der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik ein Kinderspiel.

Firmenstaffel⁸

Das Team LENA voller ELAN nahm erfolgreich an der diesjährigen Firmenstaffel im Elbauenpark teil. Am Donnerstag, den 06.07.23 gingen fünf Mitarbeitenden gegen 496 weitere Teams in der Kategorie Mixed an den Start. In einer Gesamtzeit von 1 Stunde und 16 Minuten und 15 zurückgelegten Kilometern konnte sich das Team auf den 105. 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.

Vorstellung Leitwarte⁹

Am 08.09.2023 kamen japanische Studierende im Zuge einer Summer School in die Leitwarte des LENA. Nach einem Vortrag von Prof. Wolter und einer Demonstration durch Eric Glende und Marc Gebhardt, konnten die Studierenden selbst das System steuern und versuchen Netzengpässe in dem simulierten Netz der 50Hertz-Transmission-Regelzone zu beheben. Es gab reges Interesse und auch etliche Fragen rund um das Thema Energiewende (siehe die Abbildungen 2.11 und 2.12).

Weitere Besichtigungen und Vorführungen der Leitwarte gab es innerhalb eines DFG Projektes für Professoren aus Äthiopien, für Mitarbeiter der ASG Solar, für die Volkshochschule Magdeburg sowie einer interessierten Rentnergruppe. Außerdem kamen die Kollegen des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz Transmission aus dem Umspannwerk Wolmirstedt bei einem Teamtage an die Universität um die Leitwarte und weitere Labore zu besichtigen.

Leitwarterweiterung: LENA-Netzleitstand Dynamische Netzsicherheitsrechnungen¹⁰

Nur wenige Universitäten und Forschungseinrichtungen in Deutschland besitzen einen Netzleitstand und noch weniger besitzen eine simulative Testumgebung zur Bewertung der transienten Systemstabilität. Die Bedeutung eines solchen Systems für Forschungseinrichtungen wird durch die Transformation des Energieversorgungssystems in Deutschland und Europa noch weiter verstärkt. In diesem Kontext sind innovative Lösungen erforderlich, um die Systemstabilität auch bei einem geringeren Anteil konventioneller Erzeugungsanlagen sicher bewerten und gewährleisten zu können. Das hier vorgeschlagene System bietet die Grundlage dafür, solche Analysen in einer

⁸ von M. Sc. Maja Maletz

⁹ von M. Sc. Eric Glende

¹⁰ von M. Sc. Eric Glende



Abbildung 2.11: Begutachtung der Leitwarte von den Studierenden



Abbildung 2.12: Vorstellung der Leitwarte

praxisnahen Umgebung durchzuführen und so direkt Methoden und Hinweise zu entwickeln, die die Arbeit für das Leitwartenpersonal in Zukunft weiterhin ermöglicht und vereinfacht.

Der Wegfall von konventioneller Schwungmasse und die daraus resultierenden Fragestellungen hinsichtlich der transienten Stabilität des elektrischen Netzes sind für das erfolgreiche Gelingen der Energiewende von großer Bedeutung. Daher gewinnen diese Themen auch im Rahmen des Energieforschungsprogramms des BMWK an Bedeutung, wodurch das hier dargestellte Vorhaben die Förderfähigkeit der OVGU innerhalb von Förderungen auf Bundesebene stärkt.

Darüber hinaus ist die transiente Stabilität nicht nur ein lokales, sondern ein europäisches Thema. So betreffen Winkelpendelungen im europäischen Verbundnetz immer mehrere Regelzonen bzw. Länder. Somit schafft das Vorhaben eine wichtige Grundvoraussetzung um zukünftig auch im Rahmen von EU-Projekten mit anderen Forschungseinrichtungen bzw. mit Netzbetreibern anderer Regelzonen zusammenzuarbeiten.

Mit dem Vorhaben wird eine Systemumgebung geschaffen, an die sich weitere Algorithmen und Methoden modular anfügen lassen. Damit ist sichergestellt, dass die Umgebung auch in zukünftigen Forschungsprojekten regelmäßig zum Einsatz kommen kann. Zusätzlich sichert die Systemumgebung eine nachhaltige und zukunftsorientierte Ausbildung von Studierenden, da die Abschlussarbeiten, die in Zusammenarbeit mit dieser Umgebung entstehen, für den zukünftigen Systembetrieb des elektrischen Netzes relevante Themen aufgreifen.

Im Rahmen unterschiedlicher Projekte arbeitet die OVGU bereits mit Netzbetreibern und Herstellern von Leitsystemsoftware zusammen. Die Möglichkeiten zur Kooperation werden durch das hier geschilderte Vorhaben um weitere Forschungsthemen erweitert. Insbesondere eine verstärkte Zusammenarbeit mit Übertragungsnetzbetreibern kann durch die Umsetzung dieses Vorhabens angestrebt werden.

Ein ganzer Tag voller Technik und Robotik für 28 Schüler*innen des internationalen Stiftungsgymnasiums aus Magdeburg und Poznan¹¹

Am 15.03.2023 besuchte uns eine deutsch-polnische Gruppe von 28 (Austausch-)Schüler*innen des Internationalen Stiftungsgymnasiums aus Magdeburg und einer Schule in Poznan zu einem MINT-Aktionsvormittag an der Otto-von-Guericke-Universität in der Experimentellen Fabrik. Mit dabei als MINT-Experimentierstationen waren unsere Sphero- und KUBO-Roboter, das „High Five Romance Race“ von „RatKingsLair“ auf Basis eines Makey Makey (mit dem wir auch noch ein Möhrenpiano gebaut haben), das Turing Tumble und einige LEGO-EV3-Roboter. Ein Klassiker für interaktives MINT-Experimentieren war natürlich auch der Elektrobaukasten. Super spannend und kreativ war auch das Erzeugen elektronischer Musik mit dem „Electronic Music Inventor Kit“ von littleBits.

Die Schüler*innen hatten auf jeden Fall viel Spaß beim Experimentieren und Ausprobieren! Vielen Dank an das Team der Experimentellen Fabrik, in der wir wieder mit unserem MINT-Aktionsvormittag zu Gast sein durften. Vielen Dank auch an unsere Studierenden Katharina, Steffen, Marcus, Joachim, Daniel und Maxim für die fantastische Unterstützung. Zum Abschluss des Vormittags gab es für die Schüler*innen noch eine kleine Laborführung durch unsere elektromagnetische Absorberhalle (siehe Abbildung 2.13), in der auch gerade ein Störfestigkeitstest aufgebaut war.

Nach dem Mittagessen in der Mensa der OVGU ging es dann weiter auf der Make Science Halle vom Science2Public e. V. im Petriförder, auf der es für eine Gruppe einen Workshop zum Filo Cut gab, in dem die Schüler*innen ihren Namen oder andere Figuren computergesteuert

¹¹von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.13: Laborführung durch unsere elektromagnetische Absorberhalle für eine deutsch-polnische Gruppe von 28 (Austausch-)Schüler*innen des Internationalen Stiftungsgymnasiums aus Magdeburg und einer Schule in Poznan

aus einer Styroporscheibe schneiden konnten. Für die zweite Gruppe gab es dann noch eine Führung auf den Spuren von Otto von Guericke durch die Lukasklause, natürlich mit einigen Vakuum-Experimenten mit den berühmten Magdeburger Halbkugeln und auch einem Blick auf das Magdeburger Einhorn von 1663. Vielen Dank dafür an das Team des Schülerlabors Technik (SchüLaTech), die Kolleg*innen von MagdeMINT und das Team der Lukasklause.

Spaß und Hacks auf allen Decks¹²

Viele junge und aufgeweckte Forscher*innen besuchten uns am Freitag, den 17. Februar zu einem „Tag der offenen Labortür“ auf dem Bürger*innen-Forschungsschiff Make Science Halle, das am Sarajevo-Ufer lag. Für die etwa 20 Kinder einer dritten Klasse der Grundschule Buckau aus Magdeburg gab es dann sieben MINT-Mitmach-Stationen (siehe Abbildung 2.14).

An der ersten Experimentierstation konnten die Kids zusammen mit Marcus einen kleinen kugelrunden Sphero-Roboter mit Hilfe der passende App steuern, programmieren und am Heck der Make Science Halle kleine Strecken abfahren lassen.

Noch einen Roboter unter Deck des Schiffen konnten die Drittklässler*innen an Station Nr. 2 zusammen mit Mathias Magdowski ausprobieren. Der KUBO-Roboter lässt sich durch kleine Kacheln programmieren und fährt dann eine Strecke vom Start- zum Zielpunkt ab.

Zusammen mit unserer Studentin Anne konnten die Grundschüler*innen an MINT-Station Nr. 3 auch kleine Schaltungen mit einem Elektrobaukasten aufbauen und ausprobieren, wie man eine „Schiffssirene“ baut oder einen kleinen Propeller möglichst schnell an die Kajütendecke fliegen lässt.

Noch einen kleinen fahrenden Roboter konnten die Kinder unter Anleitung unseres Studenten Steffen ausprobieren. Der kleine Ozobot fährt selbstgemalte schwarze Linien entlang und lässt sich durch farbige Muster programmieren und steuern.

Draußen der Fluss der Elbe, drinnen der Fluss der Elektronen in einem Rechner, symbolisiert durch kleine blaue und rote Murmeln, die über ein Schaltbrett mit Wippen und Weichen laufen –

¹²von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.14: MINT-Mitmach-Stationen im Inneren des Forschungsschiffes Make Science Halle (Foto: Jana Dünnhaupt, OVGU)

das gab es an der Turing-Tumble-Station, die von unserem Kollegen Thomas Schallschmidt als fünfte Experimentierstation betreut wurde.

Außerdem konnten die Kinder der 3. Klasse der Grundschule Buckau an den Stationen 6 und 7 zusammen mit Leo und Matteo vom Science2Public e. V. auf dem Oberdeck der Make Science Halle und am Elbufer zum Fluss forschen, eine kleine Wasseranalyse machen, Algen bestimmen oder Plastikmüll sammeln.

Am Freitag, den 03. und 10. März fanden weitere solcher MINT-Aktionsvormittag zusammen mit zwei Kindergruppen der KiTa Mandala aus Magdeburg statt. Vielen Dank an die Studierenden Daniel, Marcus, Niklas und Steffen, die uns auch dort sehr engagiert unterstützten.

MINT-Festival in der Festung Mark am 20. und 21. Juni 2023¹³

Zwei tolle Tage konnten die Teilnehmenden des MINT-Machen-Festivals in der Festung Mark erleben. Zusammen mit über 40 Akteur*innen aus dem MINT-Bereich war auch unsere Fakultät mit einem Workshopangebot vertreten.

Unter Anleitung von Thomas Schallschmidt mit der Unterstützung durch die Studierenden Bianca Lorenz, Marcus Nagel und Steffen Bach konnten die Kinder und Jugendlichen mehrere Calliope-Minirechner programmieren (siehe Abbildung 2.15) und mit einem Makey Makey ein interaktives Spiel testen. In kurzer Zeit entstanden so unter anderem elektronische Würfel, kleine Musikplayer, blinkende Herzen und auch ein Barometer. Ein großes Dank geht auch nochmal an die Organisator*innen aus dem MINT-Cluster MagdeMINT, denn es hat uns viel Freude bereitet, dabei gewesen zu sein.

RoboPicasso und Studieninformation bei der Berufsinformationsmesse am Dr.-Carl-Hermann-Gymnasium in Schönebeck¹⁴

Bereits zum 16. Mal veranstaltete das Schönebecker Dr.-Carl-Hermann-Gymnasium am Samstag, den 21. Januar 2023 eine Berufsinformationsmesse für Schüler*innen der Mittel- und Oberstufe. Die Fakultät für Elektrotechnik- und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität

¹³ von Dr.-Ing. Thomas Schallschmidt

¹⁴ von Dr.-Ing. Mathias Magdowski



Abbildung 2.15: Kinder beim Calliope-Workshop in der Festung Mark

in Magdeburg beteiligte sich dabei mit einer RoboPicasso-Mitmach-Aktion. Bei dieser hatten Schülerinnen und Schüler (sowie natürlich auch deren Eltern) die Möglichkeit, unsere „rollenden Pinsel“ (kleine Sphero-Mini-Roboter), die Kunst und Technik auf lebendige und bunte Weise verbinden, auszuprobieren und per Tablet-PC zu steuern (siehe Abbildung 2.16). Gleichzeitig konnten sich die Schülerinnen und Schüler über die Technik hinter den Robotern und die Studiemöglichkeiten in den Bereichen Elektrotechnik, Informationstechnik, Robotik und Medizintechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg informieren.



Abbildung 2.16: RoboPicasso bei der Berufsinformationsmesse am Dr.-Carl-Hermann-Gymnasium in Schönebeck

Allgemeine Informationen zu den anderen Studiengängen der OVGU gab es an einem weiteren Informationsstand. Neben der OVGU waren auch andere Hochschulen aus Sachsen-Anhalt sowie zahlreiche Firmen und mittelständische Industrieunternehmen bei der Berufsinformationsmesse vertreten. Die unter der Standbetreuung durch Thomas Schallschmidt und Mathias Magdowski entstandenen farbenfrohen RoboPicasso-Kunstwerke werden nun durch die Schülerinnen und Schüler des diesjährigen Abschlussjahrgangs des Dr.-Carl-Friedrich-Hermann Gymnasiums versteigert, um mit dem Erlös die Abiball-Kasse aufzubessern.

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.

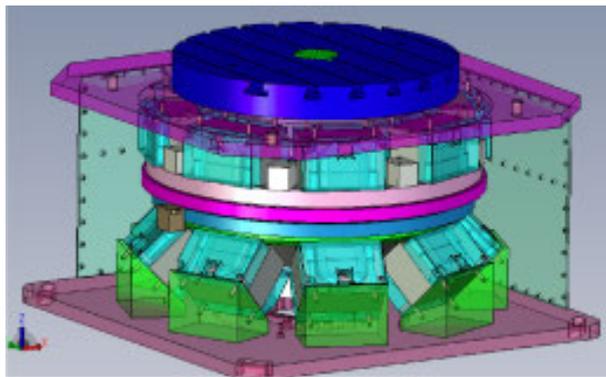


Abbildung 3.1: Magnetisch gelagerter Rundtisch

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.

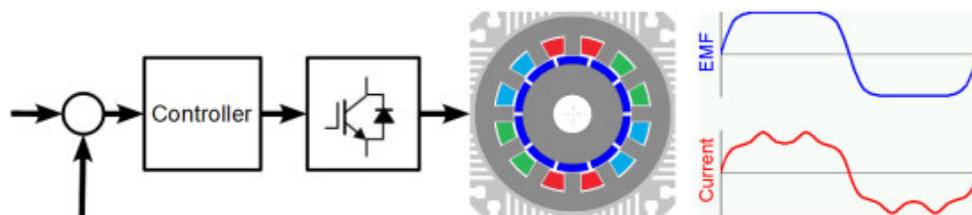


Abbildung 3.2: Regelung von Maschinen nicht sinusförmiger elektromotorischer Kraft

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

Tabelle 3.1: CMD-Prüfstandsbezeichnung

P1	Gesamtfahrzeug-/Antriebsstrang-Prüfstand
P3	Power-Pack-Prüfstand
P4	Brennstoffzellen-System
P5	Elektromotoren-Prüfstände
P7	Battery-Pack-Prüfstand
P8	Prüffeldvernetzung (Virtuelles Prüffeld)
P9	Leistungselektronik E-Maschinenemulator
P10	Batteriesimulation

Für die potentielle Nutzung des CMD durch den Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme sind vor allem die Prüfstände P5 und P9 von Interesse. Der Elektromotoren-Prüfstand P5 besitzt jeweils eine High-Torque- und eine High-Speed-Belastungsmaschine und ermöglicht eine automatisierbare Vermessung unterschiedlicher E-Maschinen-Prüflinge unter Nutzung einer Akustik- und Klimakammer, um Bedingungen nachzubilden, denen E-Maschinen z. B. in Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen ausgesetzt sind (siehe Abbildung 3.5).



Abbildung 3.5: P5-Akustikkammer mit Luftkonditionierer für High-Torque- und High-Speed-Prüflinge

Somit können Standardbetrieb, Extrembelastung und Dauerbetrieb in Kombination mit anpassbaren thermischen Bedingungen realisiert werden. Besonderes Augenmerk wird auf die Charakterisierung von Verlusten und parasitäre Effekten wie z. B. Drehmomentenwelligkeit, Vibration, magnetische Anisotropie, u. a. gelegt. Ziel ist, die Entwicklung von Methoden zur Zustandsüberwachung, Parameterbestimmung, Erkennung von Produktionsfehlern (Abnahmetest bzw. Factory Acceptance Test, kurz FAT) und die Untersuchung von Alterungseffekten. Dabei sollen die Besonderheiten der Hochdrehzahlmotoren, Direktantriebe und Motor-Getriebe-Sätze berücksichtigt werden.

Durch den Einsatz von hoch dynamischen Belastungsmaschinen mit drehsteifen und spielfreien Wellen, Kupplungen und Drehmomentenmesswellen, können dynamische Effekte, wie Drehmomentenwelligkeit oder Schwingungen, untersucht sowie auch nachfolgende Komponenten des Antriebsstranges nachgebildet (emuliert) werden.

Weiterhin sind die Prüfstände untereinander vollständig vernetzt, mit der Möglichkeit, auf Prozessdaten in Echtzeit prüfstandsübergreifend zugreifen zu können. Damit ergeben sich vielfältige Möglichkeiten neue Methoden zur Optimierung von Entwicklungsprozessen zu entwerfen und umzusetzen.

Der High-Speed-Prüfstand bietet die Möglichkeit Drehzahlen bis 23 000 Umdrehungen pro Minute abzudecken. Dabei liegt das maximale Drehmoment im Dauerbetrieb bei 300 N m bis 300 kW (bei 10 000 Umdrehungen pro Minute). Im Kurzzeitbetrieb S8 können Drehmomente bis ca. 450 N m bei max. 450 kW (bei 10 000 Umdrehungen pro Minute) angefahren werden. Bei Höchstdrehzahl liegen die Maximaldrehmomente bei 125 N m (Dauerbetrieb) und 188 N m (Überlast S8). In Tabelle 3.2 sind alle typischen Drehzahl-, Drehmoment- und Leistungsgrenzen des High-Speed-Prüfstandes aufgelistet.

Tabelle 3.2: Drehzahl-, Drehmoment- und Leistungsgrenzen des High-Speed-Prüfstandes

n_{\max}	23 000 $\frac{1}{\min}$	300 kW (S1)	450 kW (S8)	
M_{\max}	300 N m	bis max. 10 000 $\frac{1}{\min}$	Dauerbetrieb	S1
M_{\max}	125 N m	bei 23 000 $\frac{1}{\min}$	Dauerbetrieb	S1
M_{\max}	450 N m	bis max. 10 000 $\frac{1}{\min}$	Kurzzeitbetrieb	S8
M_{\max}	188 N m	bei 23 000 $\frac{1}{\min}$	Kurzzeitbetrieb	S8

Die Belastungsmaschine des High-Torque-Prüfstandes (siehe Abbildung 3.6) deckt maximale Drehzahlen bis 3500 Umdrehungen pro Minute ab. Dabei liegt das maximale Drehmoment im Dauerbetrieb bei 3500 N m bis 440 kW (1200 Umdrehungen pro Minute). Im Kurzzeitbetrieb (S8) können Drehmomente bis ca. 6000 N m bei max. 754 kW (1500 Umdrehungen pro Minute) angefahren werden. Bei Höchstdrehzahl liegen die Maximaldrehmomente bei 1200 N m (Dauerbetrieb) und 2060 N m (Überlast S8). In Tabelle 3.3 sind alle typischen Drehzahl-, Drehmoment- und Leistungsgrenzen des High-Torque-Prüfstandes aufgelistet.

Tabelle 3.3: Drehzahl-, Drehmoment- und Leistungsgrenzen des High-Torque-Prüfstandes

n_{\max}	3500 $\frac{1}{\min}$	440 kW (S1)	754 kW (S8)	
M_{\max}	3500 N m	bis max. 1200 $\frac{1}{\min}$	Dauerbetrieb	S1
M_{\max}	1200 N m	bei 3500 $\frac{1}{\min}$	Dauerbetrieb	S1
M_{\max}	6000 N m	bis max. 1200 $\frac{1}{\min}$	Kurzzeitbetrieb	S8
M_{\max}	2060 N m	bei 3500 $\frac{1}{\min}$	Kurzzeitbetrieb	S8

Es besteht die Möglichkeit, Prüflinge über einen Universalwechselrichter (siehe Abbildung 3.7a) zur betreiben, dessen elektrische Ein- und Ausgangsgrößen von einer ACDC-Box (siehe Abbildung 3.7b) messtechnisch erfasst und vom Automatisierungssystem verarbeitet werden. Die ebenfalls im Automatisierungssystem integrierte Stromversorgung (siehe Abbildung 3.7c) kann entweder von einer mobilen Stromversorgung oder über den fest installierten Batteriesimulator sichergestellt werden. Die Bedienung des Prüfstandes kann vollständig von der in Abbildung 3.6b dargestellte Leitwarte erfolgen.

Im Laufes dieses Jahres erfolgte die Inbetriebnahme der einzelnen Komponenten der Prüfstände. Von unserem Lehrstuhl wurde ein entsprechender Prüfling zur Verfügung gestellt und installiert, um das Gesamtsystem für eine betriebsbereite Übergabe entsprechend testen zu können. Aktuell wird eine direkt angetriebene Synchronmaschine am Universalwechselrichter in Betrieb genommen, sodass eine vollständige Vermessung dieses Prüflings auch unter Nutzung des Luftkonditionierens in einer Klimakammer erfolgen kann.



(a) High-Torque-Belastungsmaschine



(b) Leitwarte

Abbildung 3.6: P5-Elektromotorenprüfstand im Zentrum für Methodenentwicklung (CMD)



(a) Universalwechselrichter



(b) ACDC-Box



(c) Stromversorgung

Abbildung 3.7: Möglichkeiten zur Prüflingsversorgung im P5-Elektromotorenprüfstand im Zentrum für Methodenentwicklung (CMD)

Forschungsprojekt Micro Drives²

Im Rahmen des Forschungsprojektes Micro Drives wurde am Lehrstuhl für elektrische Antriebssysteme in Zusammenarbeit mit den mittelständischen Unternehmen Elektro-Gerätebau-Hambrücken GmbH und Autenrieth Kunststofftechnik GmbH & Co. KG eine permanenterregte Synchronmaschine als Kleinantrieb entwickelt, mit dem Ziel, den Fertigungsprozess möglichst einfach zu gestalten und auf den Einsatz von Seltenerdmetallen zu verzichten. In Abbildung 3.8 ist dargestellt, wie durch die im Projekt entworfenen spritzgegossenen Rotorringe aus einem speziellen Verbundmaterial und wie durch den Einsatz konzentrierter Statorwicklungen ein einfacher mechanischer Aufbau erreicht wird.

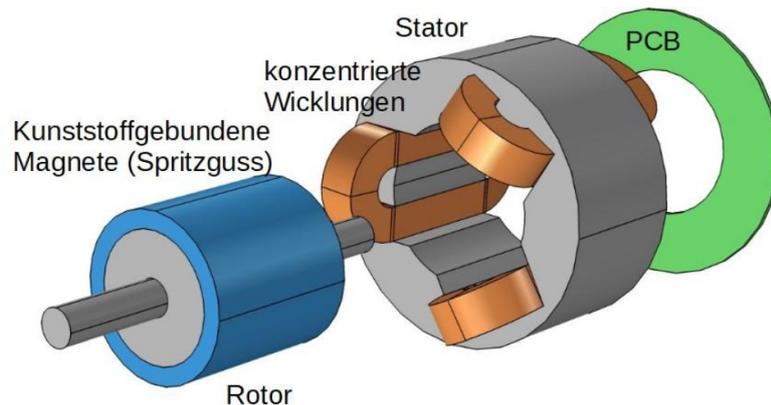


Abbildung 3.8: Aufbau des Micro Drives Prototyps

Die kunststoffgebundenen Magnete (Rotorringe) werden erst nach ihrer formgebenden Fertigung magnetisiert und auf den Eisenkern des Rotors fixiert, was die Serienfertigung der Rotoren wesentlich vereinfacht. Abbildung 3.9 zeigt den bewickelten Stator und den Rotor, der aus einem Eisenkern und vier aufgesteckten Magnetringen besteht.

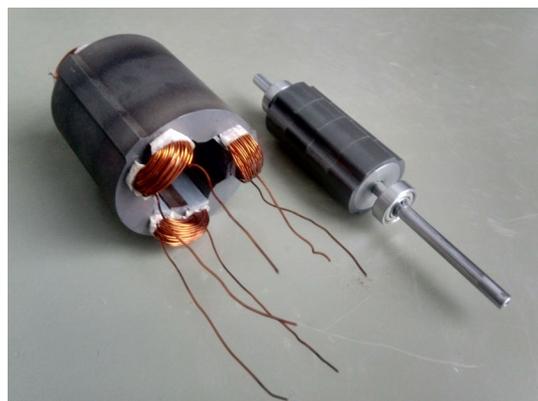


Abbildung 3.9: Stator mit Zahnspulenwicklungen (links) und Rotor mit Ringmagneten (rechts)

Die Entwicklung und die Auslegung eines Prototyps erfolgte auf Seiten des Lehrstuhls, während die Konstruktion, die Prototypenfertigung von den externen Projektpartnern übernommen wurde. Zusätzlich wurde eine Magnetisierungsvorrichtung entwickelt, mit der die spritzgegossenen Rotorringe magnetisiert werden können.

Aktuell erfolgt am Lehrstuhl die experimentelle Verifikation der Simulationsergebnisse auf einem Versuchsstand (siehe Abbildung 3.10). Es werden elektromotorische Kraft, Drehmomentverlauf,

²von Dr.-Ing. Mario Stamann

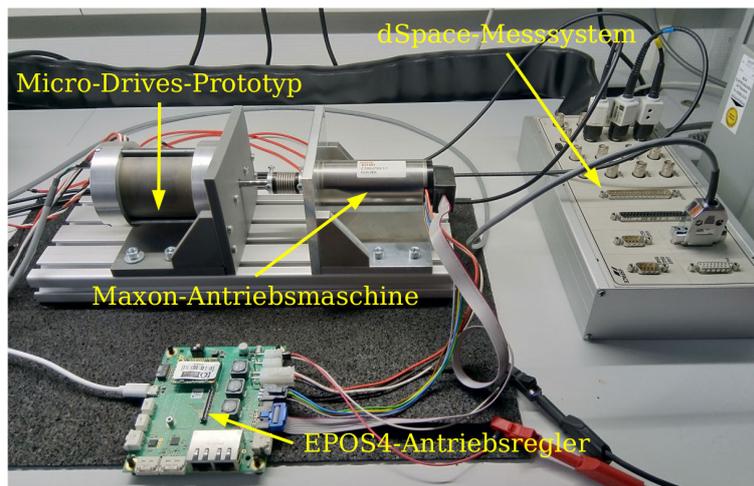


Abbildung 3.10: Versuchsstand zur experimentellen Verifikation

Sättigungsverhalten, Rastmomente und Wirkungsgrad für unterschiedlich hergestellte Rotorringe und Statorvarianten im Vergleich mit einem Prototyp gemessen, der einen Rotor mit diskreten Permanentmagneten besitzt.

RETERO – Reduction of live fish testing through science and technology³

Gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist die Überwachung und Bewertung von Wasserkraftanlagen und ihren Auswirkungen auf die Fischwanderung bei neuen Anlagen und bei der Neuzulassung vorgeschrieben. Der Stand der Technik ist die Anwendung von Lebendversuchen mit Fischen. Diese Methoden sind ethisch bedenklich, zudem kosten- und zeitaufwändig und mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Es gibt auch einige Alternativen, wie analytische oder empirische Methoden. Neuere Ansätze basieren auf (passiven, starren) Sensoren und CFD-basierten Modellen, die ihre Genauigkeit und Zuverlässigkeit jedoch erst noch unter Beweis stellen müssen. Ziel des RETERO-Projektes ist es, neue Methoden in die etablierten Normen zur Bewertung des Verletzungsrisikos von Fischen beim Durchgang stromabwärts der Turbine ohne Lebendtierversuche einzuführen.

Das RETERO-Projekt wird von 5 Partnern bearbeitet. Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) ist im RETERO Projekt mit zwei Instituten vertreten. Das Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik (ISUT) und das Institut für Elektrische Energiesysteme (IESY). Die Strategie des IESY basiert auf experimentellen Methoden zur Entwicklung einer neuen Generation aktiver biomimetischer Sonden (Roboterfische, siehe Abbildung 3.11).



Abbildung 3.11: Modell des Roboterfisches

Für eine angemessene Bewertung möglicher Schläge in Turbinen sollte der Körper eine ähnliche Steifigkeit und Biegeeigenschaften wie ein echter Fisch aufweisen. Der Roboter muss flexibel,

³von M. Sc. Shokoofeh Abbaszadeh

klein und leicht sein und er muss Rheotaxis, die Positionierung des Körpers in der Strömung, gewährleisten.

Der im IESY entwickelte Roboter besteht aus einem starren 3D-gedruckten Kopf, gefolgt von einem weichen, beweglichen Teil und einer passiven Kaudalflosse. Der Antriebsmechanismus des Körpers besteht aus vier piezoelektrischen Aktoren (MFC), die an 0,2 mm dünne GFK-Platten gebunden sind und zwei unabhängige Paare von künstlichen Muskelgruppen bilden.

Der Roboter muss seine Orientierung in der Strömung beibehalten, bevor er in die Turbine eintritt, um ein ähnliches Verhalten wie bei echten Fischen zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wurden die integrierten IMU-Sensoren in Robosensoren von Taltech (Environmental Sensing Group der Taltech Universität) verwendet.

Experimente zur systematischen Optimierung des Antriebs- und Messkonzepts, sowie zu den Verbesserungen und Vereinfachungen der Konstruktion und Bau eines freischwimmenden Roboterfisches mit externer Elektronik werden durchgeführt. Die Ergebnisse zur Verbesserung der Konstruktion und des Einflusses der Kopfbewegung auf der Vortriebskraft eines Roboterfisches wurden im Journal von Bioinspiration & Biomimetics (DOI: 10.1088/1748-3190/acedb) veröffentlicht.

Entwicklung einer direktangetriebenen elektrischen Maschine und einer elektronischen Steuerung zum Betrieb eines kurbelwellenlosen Verbrennungsmotors⁴

Im Rahmen eines ZIM-Fu-Kooperationsprojektes wird ein 3-in-1-reversibler Hybridmotor, der als autonomer Verbrennungsmotor (gasförmige, vorzüglich Wasserstoff), E-Motor sowie Generator betrieben werden kann, entwickelt. Der Kern der Forschungsarbeit liegt in der Entwicklung einer helixförmigen Rotationseinheit, die als bidirektionaler Energiewandler mechanische oder elektrische Energie erzeugen kann. Eine einfache Konstruktion bestehend aus einem beweglichen zylindrischen Helicoidkolben zwischen zwei unbeweglichen Zylinderköpfen erlaubt einen unumkehrbaren und damit effektiven Betrieb.

Eine kurbelwellen- und ventillose Konstruktion stellt eine geringe Masse und eine hohe Leistungsdichte des Motors sicher. Die zylindrische Form des Gesamtaufbaus erlaubt die Entwicklung des Gesamtsystems als Kombination aus einem Verbrennungsmotor und einer rotierenden elektrischen Maschine. Der elektrische Teil kann direkt in die Konstruktion integriert werden oder über eine Kupplung direkt mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt werden. Die Konstruktion des Gesamtsystems ist skalierbar und ermöglicht die Abdeckung unterschiedlicher Leistungsspektren. Das Gesamtsystem ist in Abbildung 3.12 dargestellt.

Das Arbeitsprinzip des Motors mit Helicoidkolben lässt sich wie folgt beschreiben: Der Kolben ist rotatorisch frei beweglich, die lineare Bewegung des Kolbens ist durch zwei fest angeordnete Zylinderköpfe beschränkt. Das Ansaugen (erster Takt) des Gemisches (bzw. Einspritzung) erfolgt durch den Ansaugkanal in den Brennraum. Nach einer Bewegung des Kolbens nimmt das Gemisch das maximale Volumen ein. Durch Rotation des Kolbens wird dieser Raum bis auf null verringert. Das Gemisch wird in der Brennkammer maximal verdichtet (zweiter Takt). Nach der max. Verdichtung erfolgt die Zündung und im Brennraum entsteht eine ausgerichtete Gasexpansion, welche den Kolben in Bewegung versetzt und somit den Motoreffekt startet.

In der Expansionsphase (dritter Takt) erreicht der Arbeitsraum ein Maximum und die anschließende Drehung dient dem Ausstoß (vierter Takt) des Verbrennungsgutes über einen Auslasskanal, indem der Kolben den Arbeitsraum erneut auf sein Minimum verkleinert. Der Motor kann als Zweitakter und als Viertakter konzipiert werden.

⁴von M. Sc. Sebastian Hieke

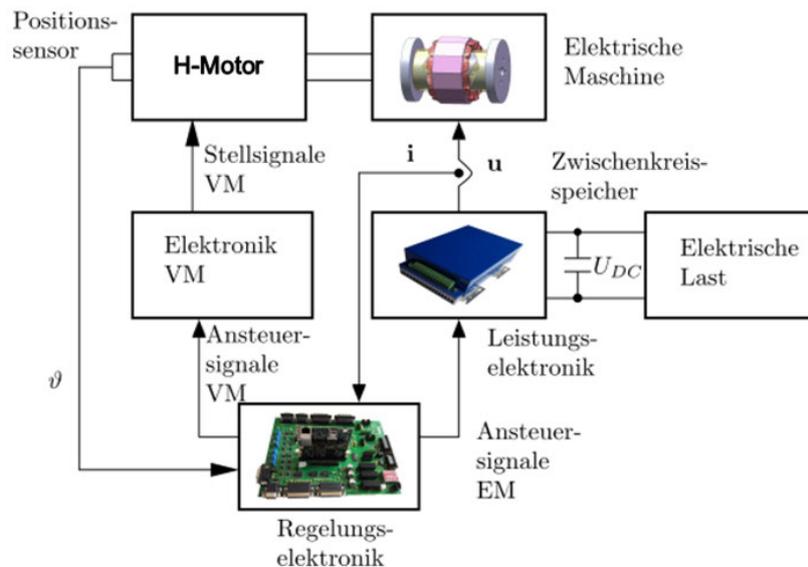


Abbildung 3.12: Aufbau des zu konzipierenden Systems bestehend aus Helicoid-Motor (H-Motor), elektrischer Maschine und zugehöriger Peripherie

Der erste Projektabschnitt sah die Entwicklung eines Simulink-Modells des idealisierten Energieumwandlungs- und Kräfteerzeugungsprozesses im Helixmotor vor mit der Zielstellung eine Prognose zum dynamischen Verhalten des Motors zu ermöglichen. Hierbei wurden folgende Annahmen getroffen:

- verlustfreier Vorgang
- ideales Gas
- stöchiometrische Verbrennung (mit $\lambda = 1$)
- explosionsartige Verbrennungsvorgang
- sinusförmige Volumenänderung

Auf Basis der Simulationsergebnisse in Abbildung 3.13 wurde eine passende permanenterrregte Synchronmaschine, die als Generator fungiert, ausgewählt.

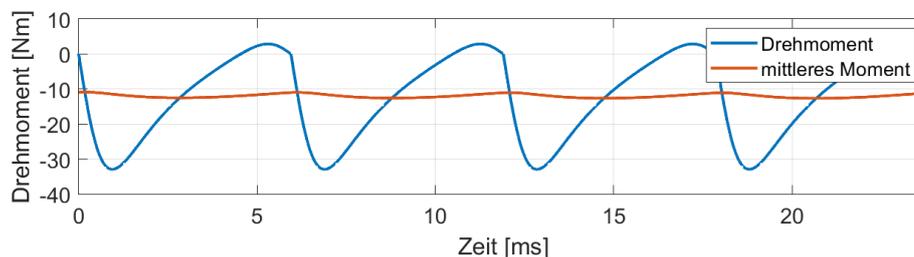


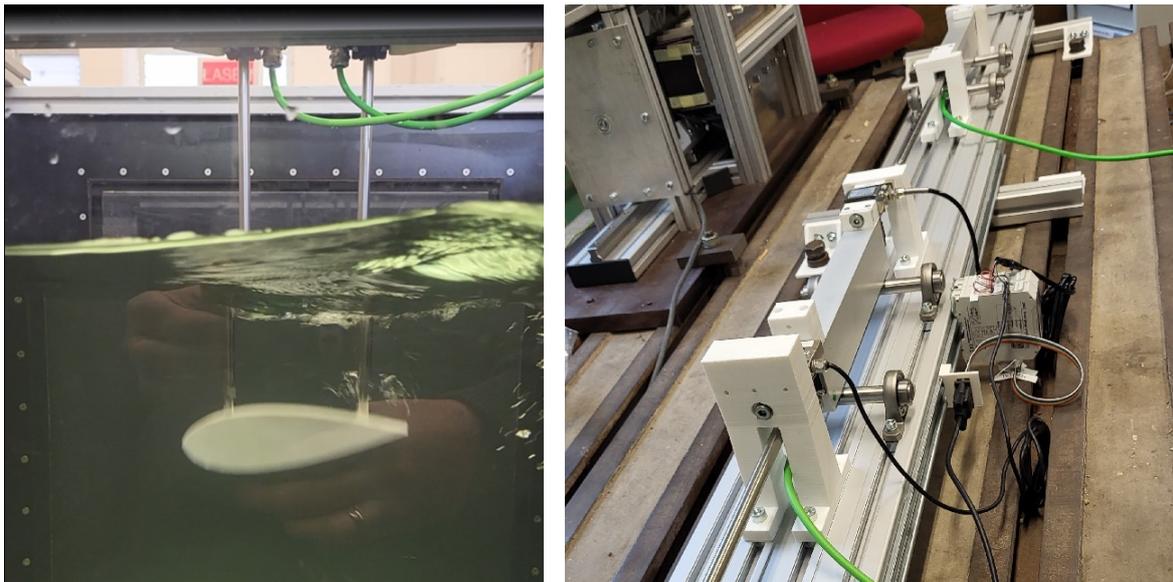
Abbildung 3.13: Momentanes und mittleres Drehmoment des Motors mit Helicoidkolben über vier Takte

Im zweiten Projektabschnitt wird an der OVGU ein Versuchsstand errichtet, auf welchem das Gesamtsystem aus Abbildung 3.12 erprobt wird. Dazu wurde bereits eine Steuerung entwickelt, welche die feldorientierte Regelung des Generators, die Ansteuerung des H-Motors, sowie das Energiemanagement des Gesamtsystems übernimmt und einen sich gegenseitig unterstützenden Betrieb beider Maschinen ermöglicht. Somit kann das Drehmoment des Verbrennungsmotors aus der Messung des Statorstroms und über ein Modell der elektrischen Maschine bestimmt

werden, wodurch eine hochdynamische Drehmomentenkompensation möglich ist. Der weitere Projektverlauf sieht vor eine echtzeitfähige Regelung zu entwickeln, sowie das Gesamtsystem experimentell zu überprüfen.

Voruntersuchungen zur Realisierung eines hydroelektrischen Energiewandlers mit elektrischen Linearmaschinen⁵

Seit der industriellen Revolution steigen die CO₂-Emissionen auf der ganzen Welt rasant an. Dieses hat zur Folge, dass sich das Klima verändert und das Leben negativ beeinflusst wird. Um diesen Trend zu stoppen wird an alternativen Technologien geforscht. So ist es u. a. eine Möglichkeit fossile Energie durch erneuerbare Energien zu ersetzen. Ein Vertreter der erneuerbaren Energien ist hierbei die Wasserkraft, die schon seit mehreren Jahrhunderten genutzt wird. Jedoch wurde oftmals in den ökologischen Lebensraum der Wasserlebewesen eingegriffen und somit auch hier Lebensraum zerstört. So sind zukünftig Energiewandler notwendig, die den aquatischen Lebensraum nur minimal verändern und die Lebewesen nicht gefährden. Eine mögliche Variante ist, die Nutzung von linearen Antrieben, die außerhalb des Wassers positioniert werden, um die Strömungsenergie mit Hilfe eines Flügels in elektrische Energie umwandeln können. Hierfür wurde im Rahmen eines geplanten DFG-Projekts ein Prototyp durch eine Voruntersuchung realisiert (siehe Abbildung 3.14a).



(a) Prototyp des hydroelektrischen Energiewandlers (b) Prototyp zur Untersuchung optimaler Ansteuerungskonzepte verschiedener linearwirkender Energiewandler

Abbildung 3.14: Voruntersuchungen zur Realisierung eines hydroelektrischen Energiewandlers mit elektrischen Linearmaschinen

Mit diesem Prototypen konnte gezeigt werden, dass eine synchrone Regelung zur Hub- und Pitchvariation von einem im Wasser bewegten Flügel mithilfe von zwei Linearmaschinen möglich ist. In den nächsten Wochen werden die hierbei erzielten Wirkungsgrade bestimmt und mit verschiedenen Strömungssimulationen abgeglichen.

Außerdem wurde für weitere Untersuchungen ein Prototyp entwickelt, mit welchem verschiedene Energiewandler nachsimuliert werden können (siehe Abbildung 3.14b). Hierbei sind zwei linear wirkende elektrische Maschinen miteinander gekoppelt. Beliebige Trajektorien von einer

⁵von Dr.-Ing. Andreas Gerlach, finanziert aus dem Innovationsfond der Otto-von-Guericke-Universität

Maschine werden vorgegeben und mit Hilfe einer freiprogrammierbaren Regelung umgesetzt. Mit der anderen Maschine können verschiedene Prozesse nachgestellt und ein optimales Ansteuerungskonzept entwickelt werden, die eine Verbesserung der Energieausbeute bei linearwirkenden Energiewandlern erzielen könnte.

3.1.3 Promotionen

Dr.-Ing. Henning Vogt: Aktive Tilgung von Drehschwingungen und Verbrennungsmotorstart durch Resonanzanregung mit der Elektromaschine eines Hybrid-Antriebs

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Roberto Leidhold, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas von Unwerth, Technische Universität Chemnitz

verteidigt am 09. Juni 2023 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.15)



Abbildung 3.15: Gratulation an Hennig Vogt mit den beiden Gutachtern und dem Mitglied der Prüfungskommission

Zur Reduzierung von Emissionen und dem Verbrauch fossiler Ressourcen werden derzeit Konzepte verfolgt, die Elektromaschinen als alleinigen oder ergänzenden Antrieb für Kraftfahrzeuge vorsehen. In diesem Zusammenhang versucht die Dissertation einen Beitrag zu leisten, um im Bereich sogenannter Hybrid-Kraftfahrzeuge aufkommende neue Herausforderungen zu lösen sowie neue Chancen und Potentiale zu nutzen.

Zu den Herausforderungen zählt die Beherrschung des Geräusch- und Schwingungskomforts. Die stets steigenden Kundenansprüche werden bei Verfügbarkeit von rein-elektrischem Fahren nochmals verschärft, während gleichzeitig die Schwingungsanregung durch die Verbrennungsmotoren steigt und die Schwingungsneigung des Triebstrangs wächst. Für eine Durchsetzung von Hybrid-Fahrzeugen am Markt wird ferner entscheidend sein, ein hinsichtlich Bauraums, Kosten und Gewicht günstiges Gesamtsystem zu finden, welches dennoch weitgehend die Vorteile eines Hybrid-Antriebs erschließt. Eine mögliche Lösung besteht in sogenannten Mild-Hybrid-Antrieben, bei denen der verbrennungsmotorische Antrieb um vergleichsweise geringe Anteile

eines elektrischen Antriebs ergänzt wird. Eine Herausforderung ist hierbei jedoch der Start des Verbrennungsmotors, insbesondere bei Kälte, aufgrund der hohen Drehmomentanforderungen an die Elektromaschine.

Neue technologische Möglichkeiten entstehen insbesondere durch die mit der Hybridisierung verbundene Integration von Elektromaschinen in den Antriebsstrang, die prinzipiell als hochdynamische Drehmoment-Stellglieder eingesetzt werden können. Um dieses Potential auszunutzen wird in der Dissertation zunächst die aktive Tilgung von Schwingungsphänomenen in Hybrid-Antriebssträngen untersucht, die maßgeblich durch die verbrennungsmotorische Drehungleichförmigkeit hervorgerufen werden. Es wird gezeigt, dass die aktive Tilgung mit einer Elektromaschine nur in Kombination mit mechanischer Isolation energetisch sinnvoll nutzbar ist. In einem prototypischen Aufbau wird der Rotor der Elektromaschine am Getriebe-Eingang angeordnet und über eine Drehelastizität mit der Kurbelwelle verbunden, so dass er als Sekundärmasse eines Zwei-Massen-Schwungrads fungiert. Durch die Entwicklung einer geeigneten Ansteuerung der Elektromaschine kann die nach der mechanischen Isolation verbleibende Drehungleichförmigkeit am Getriebeeingang stationär auf ein gewünschtes Maß reduziert werden. Das Potential zur Verbesserung von Komfort und Dynamik bei transienten Vorgängen wird am Beispiel einer Regelung des Verdrehwinkels eines Zwei-Massen-Schwungrads aufgezeigt.

Eine weitere in der Arbeit entwickelte Anwendung hochdynamischer Elektromaschinen-Regelung betrifft ein neuartiges Startverfahren für Verbrennungsmotoren, das als Resonanzstart-Verfahren bezeichnet wird. Bei diesem wird durch kontrollierte Anregung der Eigenschwingungen des Antriebsstrangs das erforderliche Drehmoment gesenkt. Auf diese Weise können auch Mild-Hybride ohne den hier ansonsten notwendigen konventionellen Anlasser aufgebaut werden. Durch die in dieser Dissertation empfohlene drehweiche Ankopplung der Elektromaschine wird dieser Effekt noch verstärkt.

Um einen praktischen Nachweis der neuen, hochdynamischen Funktionen erbringen zu können, wurde parallel zu der Dissertation ein Forschungssteuergerät für Elektromaschinen entwickelt. Bestückt mit Leistungsmodulen der gewünschten Größe dient es als universeller dreiphasiger Umrichter mit dem die Elektromaschine in dem verwendeten Versuchsaufbau eines Hybrid-Antriebsstrangs betrieben wird.

Dr.-Ing. Sebastian Benecke: Auslegungskriterien hochdynamischer Linearmaschinen für alternierende Bewegungen

Gutachter:

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

verteidigt am 27. Juni 2023 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.16)

Bei der Auslegung von elektrischen Linearmaschinen kann es eine Herausforderung sein, einen genauen Arbeitspunkt zu definieren, für den die Maschine optimiert werden soll. Vor allem bei Linearaktuatoren mit hochdynamischen Bewegungsverläufen ist es nicht möglich, einen stationären Betriebspunkt für die Optimierung festzulegen, wie es bei konventionellen Auslegungsmethoden etabliert ist. Mit dieser Problemstellung befasste sich die Forschungsarbeit.

Vor dem Hintergrund der Maximierung der Energieeffizienz eines Antriebssystems für periodische Bewegungen wurde dessen Verhalten analytisch beschrieben und charakteristische Eigenschaften und Zusammenhänge herausgearbeitet. Besonderes Augenmerk galt dabei der Dimensionierung der elektrischen Maschine mit Hinblick auf die auftretenden Verlustleistungen, da hier das



Abbildung 3.16: Gratulation an Sebastian Benecke am Otto-von-Guericke-Denkmal mit den beiden Gutachtern



Abbildung 3.17: Prototyp der Linearmaschine

Bestreben nach einer möglichst geringen bewegten Masse und gleichzeitig hoher Kraft gegenläufige Auswirkungen hatten. Dementsprechend ist das Optimierungskriterium für die Maschinengröße abhängig von der Bewegung und den Parametern, welche sich aus der Querschnittsgeometrie ergeben, hergeleitet worden. Dabei konnten eine kleine Anzahl charakteristischer Parameter für den Bewegungs- und Lastkraftverlauf eingeführt werden, welche zusammen mit der Periodendauer den zeitlichen Verlauf insgesamt abbilden.

Basierend auf diesen gefundenen Auslegungskriterien ist ein Optimierungsablauf entwickelt worden, der zum Design einer elektrischen Maschine für einen Freikolbenlineargenerator eingesetzt wurde. Es handelt sich um ein flexibles Schema, das sich aufgrund der Kombination verschiedener numerischer Simulationsschritte (siehe Abbildung 3.18), deren Ergebnisse zur Berechnung einer Zielfunktion eines Optimierungsalgorithmus beliebig zusammengestellt werden konnten, sehr gut für die Auslegung von Linearmaschinen für periodische Bewegungen eignet. Die Auslegung der Maschine für den Freikolbenlineargenerator erfolgte unter Minimierung der Kupfer- und Eisenverluste, sowie der Läuferfläche, um die Konstruktion zu vereinfachen.

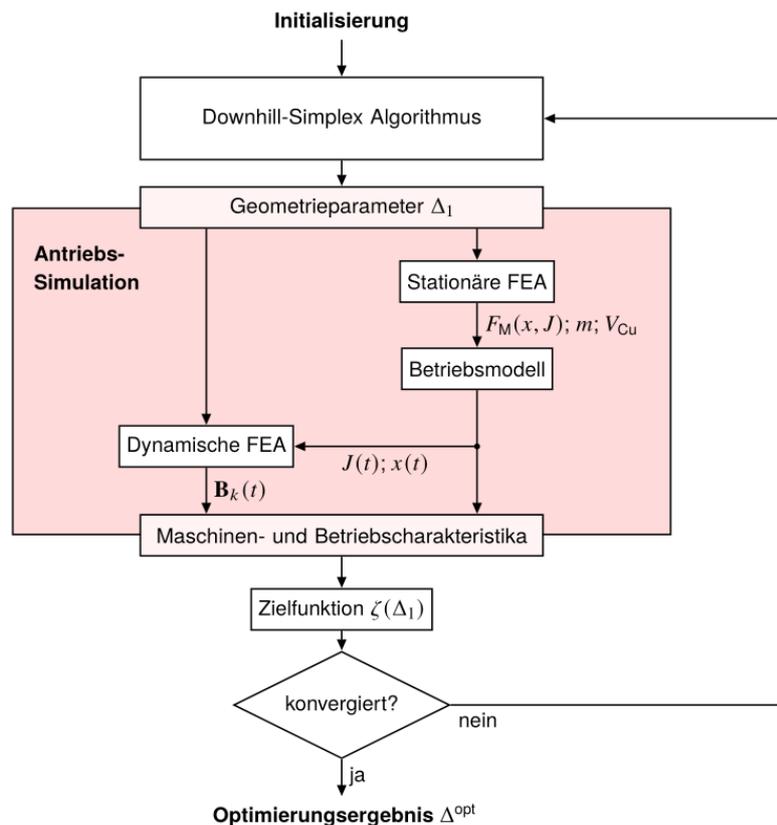


Abbildung 3.18: Optimierungsverlauf

Um die theoretischen Betrachtungen und den Optimierungsablauf zu verifizieren, ist ein Prototyp der ausgelegten Linearmaschine aufgebaut und auf einem Versuchsstand in Betrieb genommen worden. Es handelt sich dabei um eine flache Doppelstator-Linearmaschine mit Permanentmagneten im Läufer (siehe Abbildung 3.17).

Die gemessenen Charakteristika des Prototyps hatten sich trotz leichter Konstruktionsfehler im mechanischen Aufbau sehr gut mit den simulierten Ergebnissen gedeckt. Der positionsgeregelte Betrieb der Linearmaschine konnte mit sehr gutem Verhalten umgesetzt werden und diente zur Überprüfung der Modellierung und analytischen Betrachtung. Dabei waren besonders bei der Simulation der Eisenverluste deutliche Unterschiede zum tatsächlichen Verhalten aufgefallen. Der Vergleich der gemessenen Kupferverluste mit den analytisch ermittelten Werten unter

Nutzung der charakteristischen Lastparameter zeigte hingegen sehr gute Übereinstimmung, was die analytischen Betrachtungen letztendlich validierte.

3.1.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] S. Abbaszadeh, G. Toming, J. A. Tuhtan, R. Leidhold und S. Hoerner, „A robotic fish-mimicking device for ecohydraulic research“, in *40th IAHR World Congress*, Vienna, Austria, 2023.
- [2] S. Hoerner, R. Leidhold, S. Abbaszadeh u. a., „Experimental optimization environment for developing an intracycle pitch control in cross flow turbines“, in *Proceedings of the European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC) – Energy and Climate Change Division*, Bd. 15, Bilbao, Spain: Blanco Ilzarbem, Jesús María, Sep. 2023. DOI: 10.36688/ewtec-2023-578.
- [3] T. Bennecke, K. Ruiz-Hussmann, P. Joedecke u. a., „A methodology to capture the single blade loads on a cross-flow tidal turbine flume model“, in *Proceedings of the European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC) – Energy and Climate Change Division*, Bd. 15, Bilbao, Spain: Blanco Ilzarbem, Jesús María, Sep. 2023. DOI: 10.36688/ewtec-2023-501.
- [4] S. Abbaszadeh, Y. Kiiski, R. Leidhold und S. Hoerner, „On the influence of head motion on the swimming kinematics of robotic fish“, *Journal of Bioinspiration & Biomimetics*, Nr. 5, Aug. 2023. DOI: 10.1088/1748-3190/aceedb.
- [5] Z. Zhao, S. Hoerner, T. Bennecke und R. Leidhold, „Intracycle active blade pitch control for cross-flow tidal turbines using embedded electric drive systems“, *15th Proceedings of the European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC) – Energy and Climate Change Division*, Jg. 15, Sep. 2023. DOI: 10.36688/ewtec-2023-166.
- [6] Z. Zhao und R. Leidhold, „Speed as perturbation in anisotropy based sensorless control methods“, in *11th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2023 – ECCE)*, Jeju Island, Republic of Korea, Mai 2023, S. 915–919, ISBN: 978-89-5708-350-5. DOI: 10.23919/ICPE2023-ECCEAsia54778.2023.10213792.
- [7] Y. Yu, Y. Pan, Q. Chen u. a., „Multi-Objective Optimization Strategy for Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Combined Surrogate Model and Optimization Algorithm“, *Energies*, Jg. 16, Nr. 4, Feb. 2023, ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en16041630. Adresse: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/1630>.
- [8] Y. Yu, H. Gao, S. Zhou u. a., „Rotor Faults Diagnosis in PMSMs Based on Branch Current Analysis and Machine Learning“, *Actuators*, Jg. 12, Nr. 4, März 2023, ISSN: 2076-0825. DOI: 10.3390/act12040145. Adresse: <https://www.mdpi.com/2076-0825/12/4/145>.

Dissertationen und Bücher

- [1] S. Benecke, „Auslegungskriterien hochdynamischer Linearmaschinen für alternierende Bewegungen“, Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2023. DOI: 10.25673/109795.
- [2] S. Wegener, „Schwingungsanalysen unter ganzheitlicher Berücksichtigung elektromagnetischer Lasten“, Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Maschinenbau, 2023. DOI: 10.25673/103277.

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

IDiNA – Intelligente Digitalisierung der Energieversorgung zur Optimierung des Netzbetriebs und zur Erhöhung der Akzeptanz⁶

Das Projekt IDiNA („Intelligente Digitalisierung der Energieversorgung zur Optimierung des Netzbetriebs und zur Erhöhung der Akzeptanz“) startete gemeinsam mit anderen Projektpartnern im Jahr 2021. Zu den Projektzielen von IDiNA gehört die Ableitung von Strategien und

⁶M. Sc. Maja Maletz

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.

In diesem Jahr fanden zwei Projekttreffen aller Partner in Präsenz statt. Das erste Zusammenkommen wurde Ende April in Magdeburg mit der OVGU als Gastgeber ausgetragen. Das zweite Meeting war Anfang November in Haßfurt, welches von den Stadtwerken Haßfurt organisiert wurde. Dabei konnten sich die Projektpartner zusätzlich zu den monatlichen virtuellen Treffen vertieft über den aktuellen Projektstand austauschen und weitere Schritte besprechen. Das Projektende von IDiNA wurde durch eine kostenneutrale Verlängerung vom 29.02.24 auf den 31.08.24 verschoben.

UMZUG – Netzstabilität durch Momentanreserve in stromrichterdominierten Netzen (Umbruch zwischen stromrichter- und generatorbasiertem Energiesystem)⁷

Das UMZUG-Projekt begann am 01.02.2021 und befindet sich im dritten Jahr des Projekts. Das UMZUG-Projekt betrachtet die Momentanreserve als Methode zur Verbesserung der Netzstabilitätsprobleme bei der Umstellung von einem generatorischen Energiesystem auf ein umrichterbasiertes Energiesystem. Dazu ist eine technisch fundierte Stabilitätsanalyse auf Basis der deutschen und europäischen Netzsituation erforderlich, um zu zeigen, ob und wie ein Testnetz, das von umrichterbasierten Generatoren dominiert wird, stabil betrieben werden kann. Das vom BMWi geförderte Projekt UMZUG konzentriert sich im Wesentlichen auf die folgenden Bereiche: Bereitstellung von Momentanreserve mittels virtueller Synchronmaschinen (VSM), angepasste System- und Schutzkonzepte, DC-gekoppelte Speicher, Schwarzstart, Inselbetrieb, Netz- und Marktanalysen und die Erprobung der entwickelten Konzepte in einem Reallabor.

Der LENA-Vorsitzende übernimmt die Verantwortung für die Modellierung und Analyse der dynamischen Netzstabilität unter Berücksichtigung verschiedener Marktmodelle. Im Rahmen des Projektes ist der LENA-Lehrstuhl auch für die ganzheitliche Systemanalyse der Bereitstellung von Momentanreserve verantwortlich. Dies umfasst sowohl die technischen Aspekte hinsichtlich der Systemstabilität und des Bedarfs an konverterbasierten Erzeugungsanlagen mit VSM-Funktionalität als auch die wirtschaftlichen Aspekte hinsichtlich der Integration der VSM-Funktionalität in bestehende und zukünftige Netzmärkte. Abschließend werden Empfehlungen zur Netzstabilität unter Berücksichtigung der Momentanreserve festgehalten und dokumentiert.

Im Jahr 2023 lag der Schwerpunkt auf der Einrichtung eines dynamischen Simulationswerkzeugs für die netzinvariante Analyse des europäischen Verbundnetzes und einer Marktanalyse der Momentanreserve. In diesem Zusammenhang hat die LENA-Forschungsgruppe die dynamischen Modelle von Testnetzen und Marktszenarien entwickelt, die den europäischen Netzsituationen entsprechen, und die Netzstabilität mit unterschiedlichen Durchdringungsgraden von Stromerzeugungsanlagen auf Umrichterbasis analysiert.

⁷Dr.-Ing. Tahaguas Woldu

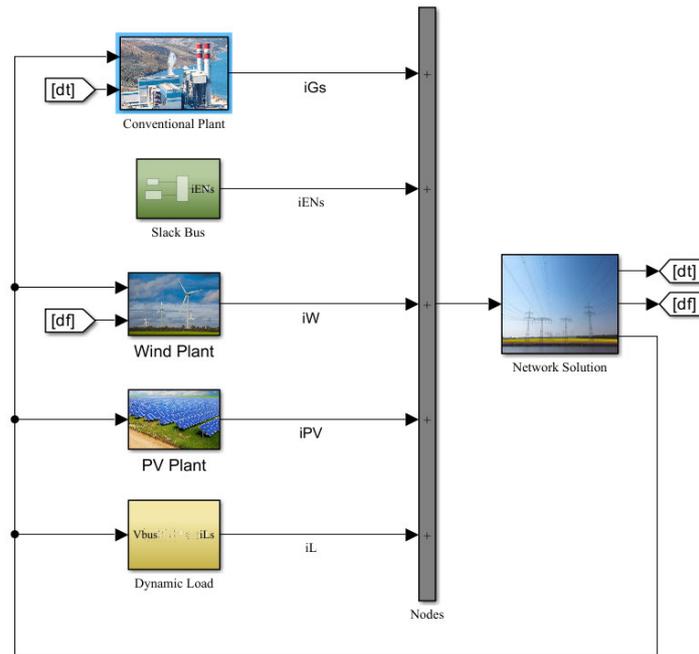


Abbildung 3.19: Allgemeine Struktur des Simulink-Modells

Abbildung 3.19 gibt einen Überblick über die allgemeine Struktur des Simulink-Modells. Die Simulationsumgebung umfasst auch die Abbildung des europäischen Verbundnetzes im Hinblick auf den bestehenden Kraftwerkspark und die Verteilung von Erzeugungsanlagen und Lasten im elektrischen Netz. Um das europäische Verbundnetz mit Hilfe des LENA-Simulationswerkzeugs zu analysieren, war eine Netzreduktion erforderlich. Das LENA-Team hat Algorithmen zur Netzreduzierung entwickelt, die auf dem DC-Leistungsflusskonzept basieren und in die Simulationsumgebung integriert wurden.

Obwohl die Netzreduzierung erfolgreich war, kann das reduzierte, auf dem Gleichstromfluss basierende Netz nicht für die dynamische Analyse verwendet werden, da für die transiente Analyse Blindleistung erforderlich ist. Daher ist das LENA-Team gezwungen, verfügbare Netzmodelle zu verwenden, die das deutsche Netz oder einige andere modifizierte Testnetze, das IEEE-39-Bus-System, darstellen, die den zukünftigen Situationen des deutschen und europäischen Netzes ähneln.

Um die Stabilität zukünftiger Netze zu gewährleisten, werden umrichterbasierte Energiesysteme, ein großer Teil der erneuerbaren Energien, Wind- und PV-Anlagen, in das Simulationstool integriert. Aus diesem Grund wurden im UMZUG-Projekt PV-Anlagen mit VSM-Funktionalität und Windkraftanlagen mit netzstützenden Fähigkeiten entwickelt. Im weiteren Projektverlauf wird für verschiedene Marktszenarien der erforderliche Anteil an VSM-Funktionalität ermittelt, so dass eine ausreichende Momentanreserve im Fehlerfall erforderlich ist, um das Netz stabil zu halten.

DFG-Äthiopien: Gleichzeitige Integrationspfade von PV-Anlagen in großen Verbundnetzen, schwachen Netzen und inselförmigen Microgrids⁸

Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) und die Mekelle University (MU) verfügen beide über Fachwissen in ihrem jeweiligen Energiesektor. Die OVGU ist im Rahmen von

⁸Dr.-Ing. Tahaguas Woldu

LENA federführend bei den Bemühungen, intermittierende Energiequellen in die deutschen Stromnetze zu integrieren und die Systemstabilität zu verbessern. Die gemeinsamen Forschungsinteressen der beiden Einrichtungen führten zur Gründung einer Forschungspartnerschaft. Sie erhielten einen Zuschuss von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), um die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Solarenergie in der afrikanischen Sub-Sahara-Region zu unterstützen. Mit der Anschubfinanzierung wurden vier Aktivitäten finanziert:

1. Identifizierung potenzieller Kooperationsbereiche im Solarenergiesektor,
2. Durchsicht politischer Dokumente, Veröffentlichungen und Vorschriften, um die Energielandschaft der Partner besser zu verstehen,
3. Identifizierung von Forschungslücken, um künftige gemeinsame Forschungsvorschläge zur Solarenergie zu verbessern,
4. Organisation von Treffen in Deutschland und Äthiopien, um identifizierte Forschungsbereiche zu diskutieren und einen Vorschlag für ein gemeinsames Forschungsprojekt im Bereich der Solarenergie zu entwickeln.

Im Jahr 2023 hat das MU-Forschungsteam die beiden von der OVGU im Mai und Juni veranstalteten Workshops zur Vorbereitung des DFG-Forschungsantrags zur Solarenergie absolviert. Ein dritter Workshop fand vom 18. bis 23. Oktober 2023 in Addis Abeba statt, um den Verbundforschungsantrag fertig zu stellen. Der vorliegende Projektantrag ist das Ergebnis der Anschubfinanzierung. Als Ergebnis der aufeinanderfolgenden Workshops wurde der Forschungsantrag für das Projekt entwickelt und ist bereit, im nächsten Jahr bei der DFG zur Projektförderung eingereicht zu werden. Ziel des Projekts ist es, zu untersuchen, wie Photovoltaik-Systeme effizient in Verbundnetze und Insel-Mikronetze integriert werden können, die die aktuelle Situation in Äthiopien widerspiegeln.

Auf der Grundlage der Erfahrungen mit der Solarintegration in Deutschland soll das Projekt die günstigsten technischen und wirtschaftlichen Optionen für die Nutzung der Solarenergie in Äthiopien ermitteln. Das Besondere an diesem Projekt ist die Verfügbarkeit verschiedener paralleler Infrastrukturen und das daraus resultierende technische und wirtschaftliche Optimierungspotenzial der Integration, das bisher noch nicht erforscht wurde. Das Projekt führt zu einem erheblichen Zugewinn an neuen Erkenntnissen von gesellschaftlicher Bedeutung für Äthiopien. Andererseits sind die EE-Durchdringung und die hochohmige Kopplung zwischen IBR in Äthiopien eine Projektion des zukünftigen europäischen Netzes und damit auch ein hoher Erkenntnisgewinn für deutsche Forscher.

PROGRESS – Erprobung kurativer Entlastungsmaßnahmen in Höchst- und Hochspannungsnetzen⁹

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. Zudem ist die Verknüpfung der Netzbetriebsführung mit betriebsplanerischen Prozessen sowie die Koordination zwischen Übertragungs- und Verteilnetzbetreibern zu beachten.

⁹M. Sc. Eric Glende

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.

K+S Zielitz Projekt „Energieversorgung im Grubenbetrieb“¹⁰

Das Kaliwerk Zielitz in Sachsen-Anhalt ist der größte Einzelstandort der K+S AG und gewinnt kaliumhaltige Rohsalze zur Herstellung von Düngemitteln, Produkten für industrielle Anwendungen sowie Produkten für die Futter- und Lebensmittelindustrie. Bezogen auf die jährliche Fördermenge zählt das Werk zu den größten und modernsten Kaliwerken der Welt. Der Bergbau findet ausschließlich unter Tage in einem weitläufigen Grubengebäude statt.

Elektrische Netze im Bergbau unterliegen besonderen Bedingungen und müssen kontinuierlich an die sich ändernden Rahmenbedingungen einer aktiven und stetig wachsenden Grube angepasst werden. Das stellt die Elektroingenieure vor Herausforderungen, da die Netze immer größere Ausdehnungen erreichen, während nur über einen einzigen Schacht eingespeist werden kann. Um das untertägige Netz auch zukünftig stabil zu halten, arbeitet der LENA-Lehrstuhl der OVGU seit September 2023 mit K+S im Rahmen eines Forschungsprojekts zusammen. In der wissenschaftlichen Untersuchung sollen das derzeitige Bestandsnetz der Grube Zielitz analysiert und bewertet sowie mögliche Verbesserungen für die Zukunft dargelegt werden. Die Laufzeit des Initialprojekts beträgt 10 Monate.

3.2.3 Promotionen

Dr.-Ing. André Richter: Virtuelle Kraftwerke im Verteilnetz – Systemstützender Betrieb im wirtschaftlichen Kontext – Eine gesamtheitliche Betrachtung Virtueller Kraftwerke

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dr.-Ing. rer. pol. Felix Müsgens, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

verteidigt am 16. Dezember 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.21)

Mit der Zunahme von dezentralen, volatilen erneuerbaren Energien steigt auch der Schwierigkeit zur Stabilisierung des Energiesystems Strom. Insbesondere durch den Wegfall von konventionellen Kraftwerken ist es notwendig, geeignete Steuerungskonzepte zu finden und Systemdienstleistungen auch aus erneuerbaren Energien bereitzustellen, um ein zuverlässiges und stabiles System zu

¹⁰M. Sc. Martin Fritsch

gewährleisten. Die vorliegende Dissertation liefert mit dem Konzept des Virtuellen Kraftwerks einen Ansatz zur Bündelung von kleinen, dezentralen, erneuerbaren Energien-Anlagen der Mittel- und Niederspannung.

Mit dem hier vorgestellten Virtuellen Kraftwerk wird der große Nutzen von gepoolten Anlagen in den Prozessen der Netzbetreiber aufgezeigt und das Gesamtverständnis des techno-ökonomischen Stromsystems erweitert. Darüber hinaus liefert diese Dissertation die Least-Squares-Kombi-Prognose zur Verbesserung der PV- und Wind-Einspeiseprognose und ein Konzept zur Day-Ahead-Marktpreisabschätzung für den Spotmarkt. Diese sind wesentliche Prozesse der Betriebsführung des Virtuellen Kraftwerks, mit breitem Anwendungsfeld auch für Netzbetreiber. In der folgenden Abbildung 3.20 wird der schematische Ablauf des Programms aufgezeigt, um eine Abschätzung für den Day-Ahead-Markt abgeben zu können.

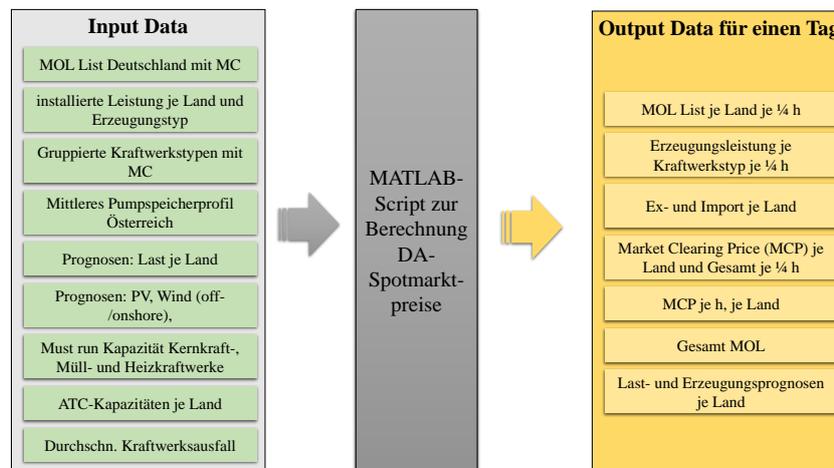


Abbildung 3.20: Ablauf des entwickelten MATLAB-Programms

Den Kernbeitrag stellt die Entwicklung und algorithmische Umsetzung von netzdienlichen Betriebsführungskonzepten für das Virtuelle Kraftwerk dar. Diese zielen auf die Maximierung der Bereitstellung von Regelleistung, Redispatchvermögen und auf die Einhaltung des Day-Ahead-Fahrplans ab. Zudem werden wirtschaftliche Betriebskonzepte umgesetzt, die als ökonomischer Maßstab zur Bewertung der netzdienlichen Konzepte herangezogen werden. Schließlich wird die Dimensionierung eines Virtuellen Kraftwerks, einschließlich der Daten zu installierter Leistung und wirtschaftlichen Kostenstrukturen, umgesetzt.

Anhand dieses exemplarischen virtuellen Kraftwerks werden die Algorithmen getestet und der große Nutzen der Betriebskonzepte sowie einer Wirtschaftlichkeit (auch ohne EEG-Förderung) nachgewiesen. Abschließend liefern die Analysen anhand eines Mittelspannungstestnetzes eine Einordnung des Virtuellen Kraftwerksbetriebs in die Netzbetriebsführung. Zu diesem Zweck wird das Cigré-Benchmarknetz rein mit erneuerbaren Energien und Lasten auf Basis von statistischen Werten von EE-dominierten Verteilnetzbetreibern parametrisiert. Der Einfluss der Betriebsführungskonzepte hält sich dabei in Grenzen und es zeigt sich, dass das Potential von derartigen Virtuellen Kraftwerken groß und netzverträglich ist.

Am 16.12.2022 hat M. Sc. André Richter seine Dissertation mit dem Thema „Virtuelle Kraftwerke im Verteilnetz – Systemstützender Betrieb im wirtschaftlichen Kontext – Eine gesamtheitliche Betrachtung Virtueller Kraftwerke“ erfolgreich verteidigt. Im Anschluss daran folgte der Gang zum Otto-von-Guericke-Denkmal.



Abbildung 3.21: Fahrt von André Richter zum Otto-von-Guericke-Denkmal und dortige Gratulation

Dr.-Ing. Nicola Könneke: Entwurf eines Testbetts für Assistenzsysteme in der Netz- und Systemführung

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner, Technische Universität Dresden

verteidigt am 19. Januar 2023 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.22)

Durch den Ausstieg von Kohle und Atomkraft, kam es zu einem erheblichen Rückgang der konventionelle Erzeuger und damit zu einer deutlichen Reduktion der trägen Schwungmassen im Netz. Zusätzlich ist der Anteil der Erneuerbaren Energieträger angestiegen, wodurch gleichzeitig die hoch-dynamische Leistungselektronik im Netz deutlich zunahm. Sie kann in Zukunft nicht mehr mit etablierten, vollständig manuell auszuführenden Netzführungskonzepten bewerkstelligt werden. Dementsprechend müssen einige Prozesse der Netzführung teil- oder vollständig automatisiert werden. In der vorliegenden Arbeit wird eine solche Automatisierung der Netzführung betrachtet.

Dazu wird zunächst die Grundlage des entwickelten Testbetts, die normkonforme Schnittstelle, vorgestellt. Dies beinhaltet eine Evaluierung der in der IEC-60870-5 enthaltenen Bedingungen bezüglich des Kommunikationsaufbaus und -ablaufs sowie der Zusammensetzung der jeweiligen Telegramme. Außerdem werden sowohl technische als auch juristische Voraussetzungen von Assistenzsystemen untersucht. Die Zusammensetzung des Testbetts wird detailliert beschrieben. Dabei werden die unterschiedlichen Funktionen der Kommunikationspartner (Leitwarte, Schnittstelle und Simulationsumgebung) veranschaulicht. Der Verbindungsaufbau, Datenaustausch und Aufbau des später verwendetet Assistenzsystems sind ebenfalls Bestandteil dieses Arbeitsschrittes. Die mathematische Herleitung der in der Simulationsumgebung implementierten Berechnungen (Lastfluss- und Sensitivitätsanalyse) und die inhaltlichen Unterschiede zwischen dem Redispatch und dem Redispatch 2.0 schließend den analytischen Teil dieser Arbeit ab.

Die detaillierte Beschreibung des Assistenzsystems erfolgt zunächst mathematisch, um im späteren Verlauf an zwei unterschiedlichen Fallbeispielen veranschaulicht zu werden. Diese Fallbeispiele beinhalten ein 6-Knoten-Netz aus der 110 kV-Ebene und ein komplexeres Netz, welches eine

Nachbildung des Übertragungsnetzes von Sachsen-Anhalt samt Nachbarstationen und unterlagerten Stationen beinhaltet. Anhand dieser Netze werden sowohl die Funktionalität als auch die Vorteile des Assistenzsystems vorgestellt und belegt. Die dazugehörigen Simulationen basieren auf viertelstündlichen Messwerten und umfassen ein komplettes Jahr. Außerdem werden in dem 6-Knoten-Netz mehrere Kombinationen hinsichtlich des Einspeiseverhaltens berücksichtigt.



Abbildung 3.22: Promotionsrunde mit traditioneller Tracht

Am 19.01.2023 fand am LENA die erste Promotionsverteidigung des Jahres mit dem Thema „Entwurf eines Testbetts für Assistenzsysteme in der Netz- und Systemführung“ statt. Dabei wurden ein Testbett in die hausinterne Leitwarte integriert und verschiedene Szenarien simuliert. Die Ergebnisse wurden in der Verteidigung vorgestellt und erörtert. Nach einer Fragerunde zog sich die Kommission zur Beratung zurück. Anschließend wurde die erzielte Note verkündet, Nicola Könneke der Titel Dr.-Ing. verliehen und ihre Krawatte abgeschnitten. Diese hat nun ihren Ehrenplatz in der Reihe der Doktoren in einer Glasvitrine am Lehrstuhl gefunden. Im Anschluss erfolgte der traditionelle Gang zum Otto-von-Guericke-Denkmal.

Dr.-Ing. Tahaguas Woldu: Modeling and Simulation of Power System Dynamics for Studying the Impacts of Increasing Wind Power in a Weak Grid System

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Prof. Dr.-Ing. Fábio Bisogno, Universidade Federal de Santa Maria

verteidigt am 21. Dezember 2022 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.24)

Die Sorge um die Umwelt und die Bemühungen, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern, führen dazu, dass erneuerbare Energieressourcen bei der Stromerzeugung in den Vordergrund rücken. Die Windenergie hat in den letzten Jahrzehnten weltweit einen rasanten Ausbau erfahren, was zu Herausforderungen im Systembetrieb in Bezug auf Frequenz- und Spannungsstabilität führt. Die Untersuchung und Bewertung der Auswirkungen großer Windkraftanlagen auf die Dynamik des Stromnetzes ist ein wesentlicher Schritt zur Verbesserung

des frequenz- und spannungsstabilen Betriebs. Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen der Windenergie zu untersuchen und Maßnahmen zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von elektrischen Netzen mit verschiedenen Netztopologien vorzuschlagen. Der doppelt gespeiste Asynchrongenerator (DFIG) ist der am weitesten verbreitete Windturbinentyp, da er mit variabler Windgeschwindigkeit betrieben werden kann, über einen Teillastumrichter verfügt und in der Lage ist, den Generator bei anormalen Bedingungen synchron mit dem Netz zu halten.

Daher wird in dieser Arbeit ein detailliertes Modell von DFIG-basierten Windturbinengeneratoren verwendet, um den Einfluss eines steigenden Windenergieanteils in einem großen Netzsystem zu veranschaulichen. Die netzdynamischen Modelle umfassen Synchrongeneratoren, automatische Spannungsregler, Turbinenregelungssysteme, DFIG-basierte Windturbinengeneratoren, verschiedene Steuerelemente, Übertragungssysteme und Transformatoren. Die mathematischen, dynamischen Modelle werden mit Hilfe numerischer Integrationstechniken gelöst. Zu diesem Zweck wird ein Tool zur dynamischen Simulation von Stromsystemen in MATLAB/Simulink entwickelt.

In dieser Arbeit werden vier Testnetze, einschließlich einer Fallstudie für das äthiopische Stromnetz, verwendet, um die dynamischen Reaktionen in verschiedenen Netztopologien zu simulieren. Die verschiedenen Simulationsszenarien und Netztopologien bestätigen, dass eine Erhöhung des Windenergieanteils die transiente Stabilität des Systems verschlechtert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Erhöhung des Windkraftanteils zu einer Verringerung der dynamischen Spannungsstabilitätsreserven, einer Erhöhung der Frequenzänderungsrate und einer Verringerung der Wirkleistungsübertragungsfähigkeit führen.

Darüber hinaus wird beobachtet, dass sich die DFIGs als Reaktion auf Netzspannungseinbrüche bei schweren Fehlerereignissen selbst vom Netz trennen, um die rotorseitigen Back-to-Back-Umrichter vor Rotorüberströmen zu schützen. Die dynamischen Auswirkungen von DFIG-basierten Windgeneratoren werden bewertet und es werden Regelungsstrategien vorgeschlagen, die die Windgeneratoren nicht nur unterstützen, am Netz zu bleiben, sondern auch die Systemstabilität bei Netzstörungen zu verbessern. Es wird eine neue Regelungsstrategie vorgeschlagen, um die Fähigkeit von DFIG-Windgeneratoren zum Niederspannungs-Ride-Through zu verbessern.

Die vorgeschlagene Regelungsstrategie umfasst die gemeinsame Anwendung eines STATCOM und einer Rotor-Überdrehzahl-Strategie. Der STATCOM wird hauptsächlich eingesetzt, um den Stator-Spannungseinbruch zu reduzieren und die Rotor-Überdrehzahl-Strategie wird verwendet, um die Rotorüberströme bei Stator-Spannungseinbrüchen zu reduzieren, was zu einer geringeren Ausgangsleistung führt. Die Überdrehzahlregelung wird eingesetzt, um den Wirkleistungssollwert so anzupassen, dass er proportional zum Spannungseinbruch an der Klemme ist.

Auf diese Weise wird die Turbine veranlasst, die Rotordrehzahl bis zur maximal zulässigen Grenze zu erhöhen, sodass die Ausgangsleistung so lange reduziert bleibt, bis der Spannungseinbruch am Stator durch den schnell reagierenden STATCOM wieder ausgeglichen wird. Der Schematische Ablauf wird über den Regelkreis in Abbildung 3.23 aufgezeigt.

Der zweite Beitrag dieser Doktorarbeit befasst sich mit Lösungen für die Verbesserung der Netzfrequenzstabilität bei höherem Durchdringungsgrad von Windenergie. Es wird ein neuer Ansatz vorgestellt, mit dem die Betreiber von Windkraftanlagen ihre Windenergieerzeugung so planen können, dass sie den Prozess der Wiederherstellung der Netzfrequenz unterstützen.

Das vorgeschlagene Frequenzregelungsmodul auf Anlagenebene überwacht den Beitrag der verschiedenen Betriebseinheiten in einem großen Windpark auf der Grundlage ihrer jeweiligen Windgeschwindigkeit und der Netzfrequenzabweichung. Die dynamischen Simulationsergebnisse zeigen, dass die vorgeschlagenen Spannungs- und Frequenzregelungsstrategien effizient sind, um den Spannungsabfall in Echtzeit zu regulieren und die Steuerbarkeit von Spannung und Frequenz bei einem höheren Durchdringungsgrad der Windenergie zu verbessern.

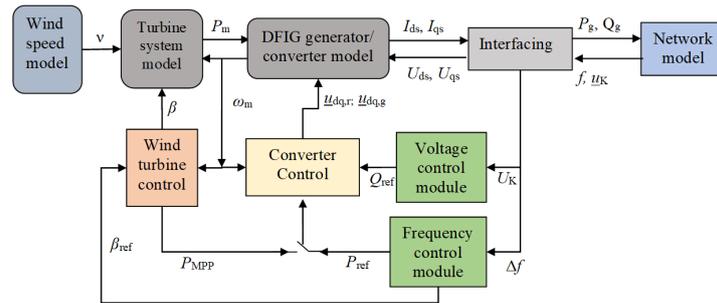


Abbildung 3.23: Schematischer Ablauf des Regelkreises.



Abbildung 3.24: Traditioneller Schlussakt der Promotionsfeierlichkeiten

Am 21.12.2022 erhielt Tahaguas Woldu den Titel Dr.-Ing. nach seiner Verteidigung zum Thema „Modeling and Simulation of Power System Dynamics for Studying the Impacts of Increasing Wind Power in a Weak Grid System“. Die Aktualität und Wichtigkeit des Themas wurde besonders hervorgehoben. Nach der Verteidigung und Fragerunde gab es die Verkündung der Note und die traditionelle Verkürzung der Krawatte, die als Erinnerung mit Namen des Promovierenden aufgehängt wird. Zum Schluss folgte natürlich der feierliche Gang zum Otto von Guericke Denkmal auf dem Fass mit elektrischem Antrieb, welches vom Lehrstuhl gebaut wurde.

3.2.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] P. H. Eisenkraemer, M. d. S. Ortiz, D. P. Bernardon und M. Wolter, „Methodology for Impact Analysis of Electric Vehicles on Distribution Networks“, in *Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems (NEIS)*, 2023, S. 1–6.
- [2] M. d. S. Ortiz, P. H. Eisenkraemer, D. P. Bernardon und M. Wolter, „Modeling of charging stations for impact analysis of electric vehicles in distribution networks“, in *15th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC)*, 2023, S. 1–6.
- [3] M. Fritsch und M. Wolter, „Saturation of High-Frequency Current Transformers: Challenges and Solutions“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Jg. 72, S. 1–10, 2023. DOI: 10.1109/TIM.2023.3302370.
- [4] M. Fritsch und M. Wolter, „Determination of the Optimal Air Gap of an HFCT“, in *2023 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2023, S. 1–5. DOI: 10.1109/ISGT51731.2023.10066365.

- [5] M. Fritsch und M. Wolter, „Concept of a Split-Core HFCT with Air Gap Control for Partial Discharge Measurements“, in *2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2023, S. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM52003.2023.10252642.
- [6] T. Woldu, C. Ziegler und M. Wolter, „Fault Ride through Capability Enhancement of Grid-connected DFIG-based Wind Power Generation During Voltage Dips“, in *2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2023, S. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM52003.2023.10252457.
- [7] G. M. Cocco, F. E. Bisogno, R. F. De Camargo, T. A. Woldu, C. Ziegler und M. Wolter, „Analysis and Control of an Isolated Multi-Source Renewable Microgrid Employing the Multi-Input Split-Source Inverter“, in *2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2023, S. 1–5. DOI: 10.1109/PESGM52003.2023.10252447.
- [8] M. Maletz, J. Sauerhering und M. Wolter, „A time-step based steam accumulator simulation to define the optimal storage capacity“, in *IEEE Power and Energy Student Summit (PESS)*, Bielefeld, Nov. 2023.
- [9] C. Andres, M. Fritsch und M. Wolter, „Inductive Energy Harvesting System for Power Cables with Forced Linear Operation“, in *IEEE Power and Energy Student Summit (PESS)*, Bielefeld, Nov. 2023.
- [10] D. N. K. Dieng, L. Thiaw, A. K. Usbeck, O. M. Adamou und M. Wolter, „Impact assessment of grid strength and inverter-based renewable energy penetration on voltage stability“, in *IEEE Power and Energy Student Summit (PESS)*, Bielefeld, Nov. 2023.

Dissertationen und Bücher

- [1] A. Richter, „Virtuelle Kraftwerke im Verteilnetz – systemstützender Betrieb im wirtschaftlichen Kontext – eine gesamtheitliche Betrachtung virtueller Kraftwerke“, Diss., 2023. DOI: 10.25673/101181.
- [2] T. Woldu, „Modeling and simulation of power system dynamics for studying the impacts of increasing wind power in a weak grid system“, Diss., 2023. DOI: 10.25673/102172.
- [3] N. Könneke, „Entwurf eines Testbetts für Assistenzsysteme in der Netz- und Systemführung“, Diss., 2023. DOI: 10.25673/101742.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] M. d. S. Ortiz, P. H. Eisenkraemer, D. P. Bernardon und M. Wolter, „Methodology for Projection of the Diffusion of Electric Vehicles in Residential Consumers“, in *Dresdener Kreis*, 2023.
- [2] E. Glende und M. Wolter, „Fast identification of dynamic voltage stability problems“, in *IEEE PES General Meeting*, 2023.
- [3] T. Woldu und M. Wolter, „Control Strategies to Enhance the Transient Stability of Grid System with Higher Share of DFIG-based Wind Turbine Power“, in *Wind Energy Science Conference (WESC)*, 2023.

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

Entwicklung eines MR-geeigneten RF-Umschalters für die Anwendung im Hybrid-MRT-Ablationssystem¹¹

Das Konzept des hybriden Ablationssystems für die Magnetresonanztomographie (MR) besteht darin, dass die Hochfrequenzleistung (RF) für eine thermische Ablation vom MR-System abgegriffen wird. Mit Anschluss einer Elektrode am RF-Spulenport und dem Durchführen von RF-Pulssequenzen des MR-Gerätes kann eine mittlere Leistung generiert werden, um lokale Temperaturerhöhungen bis zu 100 °C zu erreichen und somit Krebsgewebe thermisch zu zerstören. Zeitgleich ist es auch möglich MR-Signale mit der Elektrode zu messen, um mittels der MR-Thermometrie Temperaturkarten vom zu erheizendem Gewebe aufzunehmen. Jedoch weist die Elektrode als ein Sende-Element für die MR-Bildgebung eine inhomogene MR-Signalanregung auf und die Genauigkeit der MR-Thermometrie würde hierdurch eine Ortsabhängigkeit aufweisen. In der diagnostischen MR-Bildgebung werden Leiterschleifen für eine homogene MR-Signalanregung genutzt. Jedoch reicht die Leistungsdichte der MR-Bildgebungsspulen nicht aus um Gewebe irreversibel thermisch zu zerstören.

Im Zuge dieses Projektes wurde ein RF-Umschalter entwickelt, um an einem Sendekanal sowohl eine Ablationselektrode als auch eine Bildgebungsspule anschließen zu können. Der MR-geeignete und computer-gesteuerte RF-Umschalter basiert auf einer PIN-Diodenschaltung ohne Nutzung ferromagnetischer Komponenten. Durch das Anlegen einer Gleichspannung wird die RF Leistung entweder zur Elektrode für die Ablation oder zur Bildgebungsspule geleitet.

In Abbildung 3.25 sind Ergebnisse bei Nutzung des MR-geeigneten RF-Umschalters für das Hybrid-System zu sehen. Die Abbildung 3.25a zeigt die inhomogene MR-Signalverteilung bei Nutzung einer Elektrode. Mit Umschalten zum Bildgebungsmodus ist in Abbildung 3.25b eine homogenere MR-Signalverteilung möglich. Durch Einbau des Umschalters konnten mit einem Netzwerkanalysator einen Transmissionsfaktor von $-0,8$ dB im gewünschten leitendem Zustand und im sperrendem Zustand ein Transmissionsfaktor von -30 dB gemessen werden.

Mit dem MR-geeigneten RF-Umschalter ist es möglich, computergesteuert das Hybrid-MRT-Ablationssystem in entweder dem Ablationsmodus oder dem Bildgebungsmodus zu wechseln.

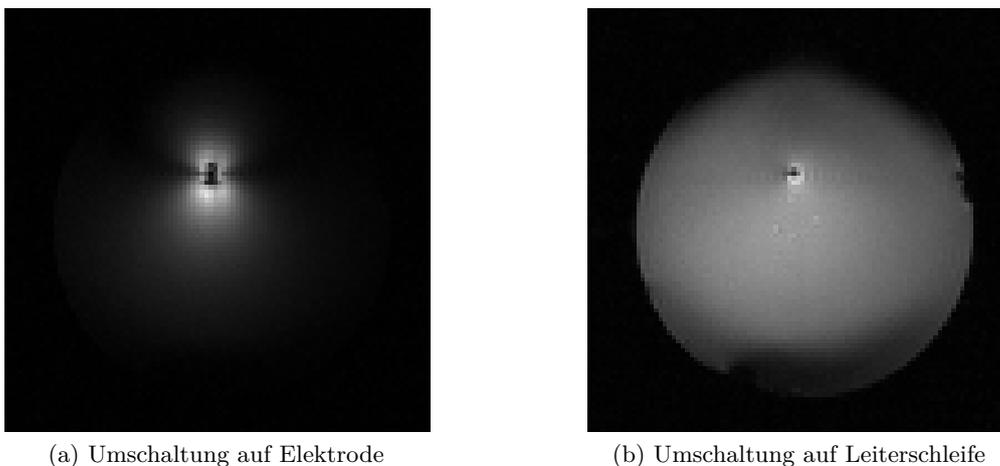


Abbildung 3.25: Vergleich der MR-Signalverteilung bei Nutzung des MR-geeigneten RF-Umschalters bei unterschiedlichen Zuständen

¹¹von M. Sc. Thomas Gerlach

Schnelle Dipolapproximation zur Beschreibung der Streuung und Abstrahlung beliebiger Leiter- und Schlitzgeometrien in Resonatoren und im Freiraum¹²

Im Rahmen des DFG-Projekts wurde ein neues, semianalytisches Verfahren zur Berechnung gestreuter Felder an dünnen Leitern und Schlitzen mit beliebiger Trajektorie in verschiedenen Umgebungen entwickelt. Dazu wurden die allgemeinen Feldintegralgleichungen in dem lokalen krummlinigen Koordinatensystem, das von der Trajektorie der streuenden Struktur abhängt, formuliert. Mit Hilfe eines analytischen Regularisierungsverfahrens konnte die Greensche Funktion eines quaderförmigen Hohlraumresonators in Nah- und Fernwechselwirkungsanteile zerlegt werden, um abschließend die einzelnen Anteile analytisch approximativ zu lösen. Dazu wurde die Greensche Funktion in der als Ewald-Repräsentation bekannten Form dargestellt, die eine hybride Summe von Moden- und Spiegelladungs-Summanden aufweist. Während die Spiegelladungsterme eine für die Regularisierung vorteilhafte Form besitzen, erlauben die Modenterme eine schnelle Konvergenz der Summe. So kann die Streuung elektromagnetischer Felder an einem dünnen Leiter mit beliebiger Trajektorie im Inneren eines Hohlraumresonators, wie in Abb. 3.26 dargestellt, beschrieben werden.

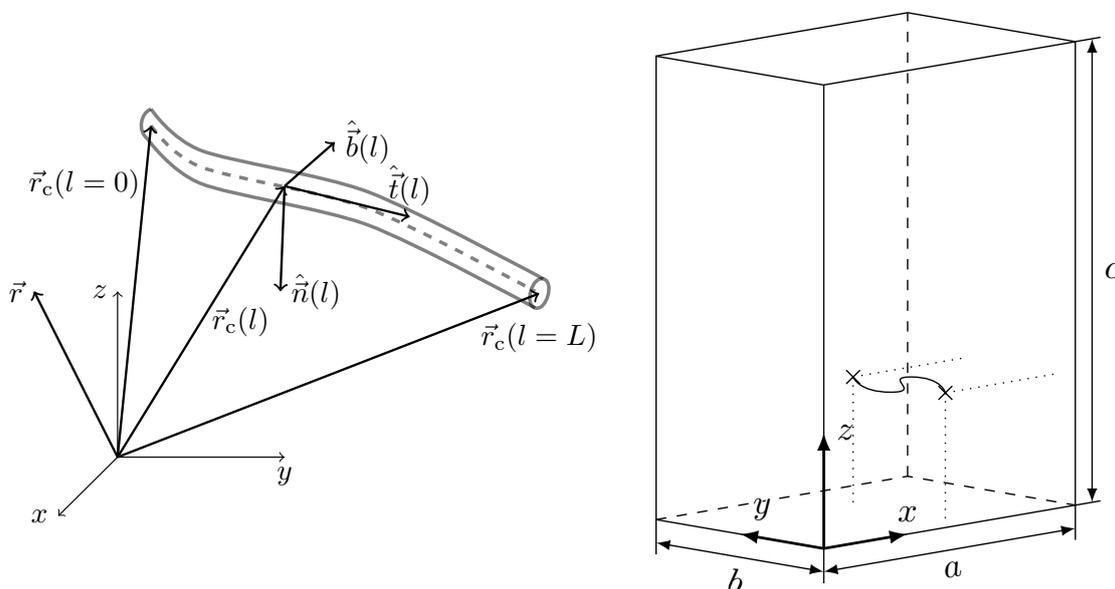


Abbildung 3.26: Geometrie des Leiters und Resonators

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

Schnelle E-Feldmessungen mit lasergespeisten Feldsonden in Modenverwirbelungskammern¹³

Die Untersuchung der gestrahlten Störfestigkeit sowie der Störaussendung hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit von Prüfobjekten (device under test, DUT) gewinnt durch die Integration von immer mehr elektronischen Komponenten zunehmend an Bedeutung. Zu einer möglichst praktikablen Nachbildung einer komplexen elektromagnetischen Umgebung kommen vermehrt Modenverwirbelungskammern zum Einsatz. Diese bieten als alternative Messumgebung zu Absorberhallen, Freifeldern oder GTEM/TEM-Zellen den Vorteil, auch große Prüflinge statistisch gleichwertig aus allen Richtungen zu überprüfen. Dies eliminiert die Notwendigkeit für

¹²von Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Jörg Petzold

¹³von B. Sc. Konstantin Bredenfeld und Dr.-Ing. Mathias Magdowski

jegliche Bewegung des Prüflings oder der Messantenne, was zu erheblichen Einsparungen bei der Messzeit führt. Zusätzlich ermöglichen die leitfähigen und damit reflektierenden Wände der Modenverwirbelungskammer die Erzeugung hoher Testfeldstärken bei vergleichsweise geringer Verstärkerleistung.



Abbildung 3.27: Modenverwirbelungskammer in Magdeburg mit einem leitfähigen Textil (oben links), einem kleinen, schnellrotierenden Modenrührer (mittig) und einem großen, langsamrotierenden Modenrührer (rechts)

In Modenverwirbelungskammern werden traditionell drehbare Modenrührer genutzt, um die elektromagnetischen Randbedingungen der Kammer so zu verändern, dass sich innerhalb des Prüfvolumens statistisch nahezu homogene und isotrope Feldbedingungen einstellen. Das standardisierte Verfahren nach der IEC 61000-4-21 sieht bei der schrittweisen Drehung des Rührer eine aufwendige Kammervalidierung und separate DUT-Validierung vor. In diesem Beitrag wurde ein neuartiges Verfahren untersucht, das in der ISO 11452-11 erstmalig Erwähnung findet. Das Hauptziel dieses Verfahrens besteht darin, die Messzeit für einen Störfestigkeitstest in einer Modenverwirbelungskammer erheblich zu verkürzen, ohne die statistische Genauigkeit zu beeinträchtigen. Gleichzeitig werden die Validierung der Kammer und des Prüflings (DUT) miteinander verknüpft.

Mithilfe von neuen marktverfügbaren Feldsonden mit hohen Abtastraten soll von einem schrittweisen Betrieb des Modenrührers in ein schnellen kontinuierlichen Betrieb übergegangen werden kann. Durch schnelles Verwirbeln der Moden mit zwei Rührern und einem leitfähigen Textil kann eine größere statische Stichprobengröße mit entsprechend geringerer statistischer Unsicherheit in wesentlich kürzerer Zeit erreicht werden.

In einem ersten Schritt wurde der optimale Betriebszustand der Modenverwirbelungskammer experimentell ermittelt. Dies wurde durch eine geeignete Steuerung der Rührer und der Bewegung des leitfähigen Textils erreicht (siehe Abbildung 3.27). Hierbei erfolgte die Analyse anhand

der Standardabweichung der Feldstärke und der unabhängigen Positionen der Rührer unter Verwendung des Autokorrelationskoeffizienten. Im anschließenden Schritt wurde diese optimale Betriebsweise verwendet, um eine aktive Feldregelung basierend auf der Statistik der Feldsonden anzuwenden.

	Schrittweise Drehung	Aktive Feldregelung
DUT-Validierung	72 min	-
Messung	120 min	23 min

Tabelle 3.4: Vergleich der nötigen Messzeiten für einen typischen Störfestigkeitstest bei schrittweiser Drehung des Rührer sowie bei kontinuierlicher Drehung und aktiver Feldregelung

Die Regelung in Echtzeit konnte mithilfe der Messsoftware EMC32 von Rohde&Schwarz erfolgreich realisiert werden. Die lasergespeisten Feldsonden mit hoher Abtastrate wurden von der Firma LUMILOOP zur Verfügung gestellt. Die Messergebnisse verdeutlichen eindeutig, dass durch die aktive Feldregelung im Vergleich zur herkömmlichen Methode eine erhebliche Verringerung der Messdauer erzielt werden kann (siehe Tabelle 3.4). Die im Beitrag präsentierten Ergebnisse sind äußerst wertvoll für die zukünftige Entwicklung von EMV-Tests in Bezug auf die Störfestigkeit und bergen ein erhebliches Potenzial.

Sicherung der Versorgungsqualität durch optimierten Einsatz verteilter, aktiver Oberschwingungsfiler in Verteilnetzen (SiQuaNetz)¹⁴

Das sich im Wandel befindende elektrische Energienetz steht durch den Umbau großer Kraftwerksleistungen hin zu kleineren, verteilten Erzeugungsklustern sowie der rasanten Veränderung von Verbrauchern und Verbrauchsverhalten vor großen Herausforderungen. Dieser Wandel geht aufgrund zunehmender Verwendung leistungselektronischer Schaltungen bei gleichzeitiger Abnahme der Kurzschlussleistung des elektrischen Netzes mit Netzurückwirkungen einher, die sich auf alle am Netz befindlichen Betriebsmittel negativ auswirken können. Eine etablierte Möglichkeit zur Reduktion von nicht-sinusförmigen (oberschwingungsbehafteten) Strömen stellt die Kompensation dieser mithilfe aktiver Filter dar. Dabei werden den Störungen entgegenwirkende Oberschwingungsanteile vom Filter eingespeist, was zur Entlastung des Netzes führt.

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten und mit mehreren Partnern durchgeführten Verbundprojekt SiQuaNetz, welches im Dezember 2022 seinen Projektabschluss fand, wurde ein neuartiger Ansatz zur Eindämmung von Netzurückwirkungen verfolgt. Hierbei sollen auf Basis der Rückwirkungen auf die Netzspannung ermittelte Oberschwingungsströme kompensiert werden. Von Vorteil dabei ist, dass auf etablierte Stromrichtertopologien zurückgegriffen werden kann.

Im Projekt SiQuaNetz wurde gezeigt, dass es mit Hilfe eines Stromrichters und dem Wissen über die Netzimpedanz möglich ist, Netzurückwirkungen annähernd gleichwertig zu etablierten Filtermaßnahmen zu kompensieren. Mehrere Simulationsmodelle sowie Laborversuche konnten zeigen, dass das im Projektverlauf entwickelte Filter eine bemerkenswerte Filterleistung zeigt (siehe Abbildung 3.28).

¹⁴von M. Sc. Benjamin Hoepfner

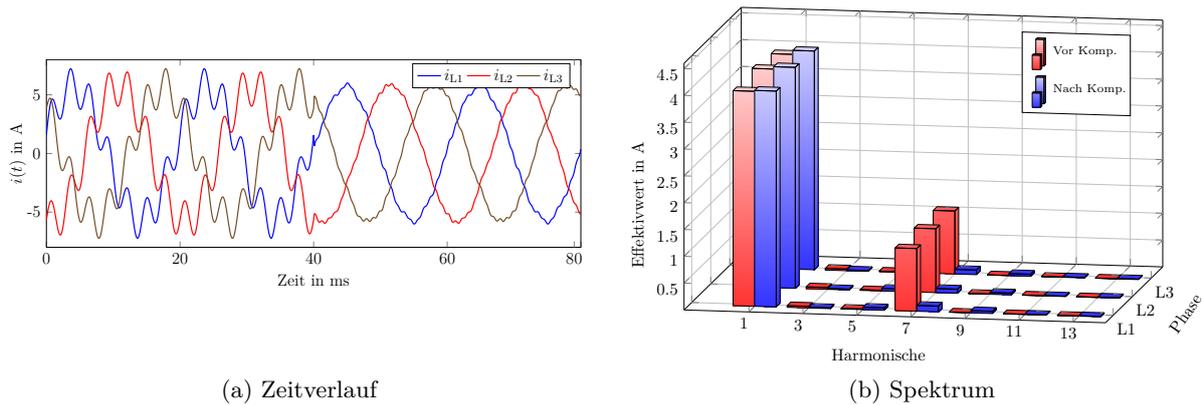


Abbildung 3.28: Labormessung vor und nach der Oberschwingungskompensation durch ein aktives Filter

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Entwicklung eines cloudbasierten aktiven Netzmanagement-Systems für aktive Filter (AFiMan)¹⁵

Zur Optimierung des Verhaltens von Stromrichtern am Netz ist das Wissen über die vorliegende Netzimpedanz unerlässlich. So können Regelalgorithmen, Netzzustände und mögliche Instabilitäten aber auch Leistungsvorgaben für die Verbesserung der Netzqualität aus der Netzimpedanz abgeleitet werden. Anknüpfend an das bereits abgeschlossene Projekt SiQuaNetz kann die Netzimpedanz zur Verbesserung des Verhaltens bei spannungsgeführter Kompensation von Oberschwingungen dienen.

Aufgrund der hohen Volatilität von Betriebszuständen durch Verbraucher und Betriebsmittel sowie der zunehmenden Einbringung kapazitiver Elemente in das elektrische Netz ist die Netzimpedanz sowohl zeit- als auch frequenzabhängig. Für am Netz agierende Stromrichter ist die Impedanzmessung eine Herausforderung der sich das Projekt AFiMan stellt. Darüber hinaus wird AFiMan die Möglichkeit des Austausches und Auswertung zeitkritischer Datenübertragung hoher Informationsdichte widmen, so dass übergeordneter Informationscluster mit Hilfe der Daten mehrerer Stromrichter netzsichernde Aufgaben erfüllen kann.

Danksagung Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16KN111525 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

¹⁵ von M. Sc. Benjamin Hoepfner

Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz¹⁶

Das Ziel dieser Studie war die Darstellung und Untersuchung normativer Messmethoden für Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz, um daraus resultierend praktische Empfehlungen anwendbarer Messverfahren abzuleiten. Zur Untersuchung der Messverfahren wurde dafür ein Prüfling entwickelt, der die Charakteristik eines unbeabsichtigten Strahlers abbildet. Die Abbildungen 3.29a und 3.29b zeigen den Messaufbau des Prüflings in der Absorberhalle und in der Modenverwirbelungskammer.

Bei hohen Frequenzen und entsprechenden kleinen Wellenlängen wächst die elektrische Größe eines Prüflings und damit einhergehend steigt die Komplexität dessen Abstrahldiagramms. Die maximale Emission mit den etablierten Verfahren in Voll- und Halbabsorberhallen durch eine räumliche Abtastung des elektrischen Feldes zu erfassen, erweist sich dabei als schwierig und ist mit einem erheblichen Messaufwand verbunden. Darüber hinaus erschwert das thermischen Rauschen der Geräte und die Dämpfung der Signale durch Kabel die Erfassung.

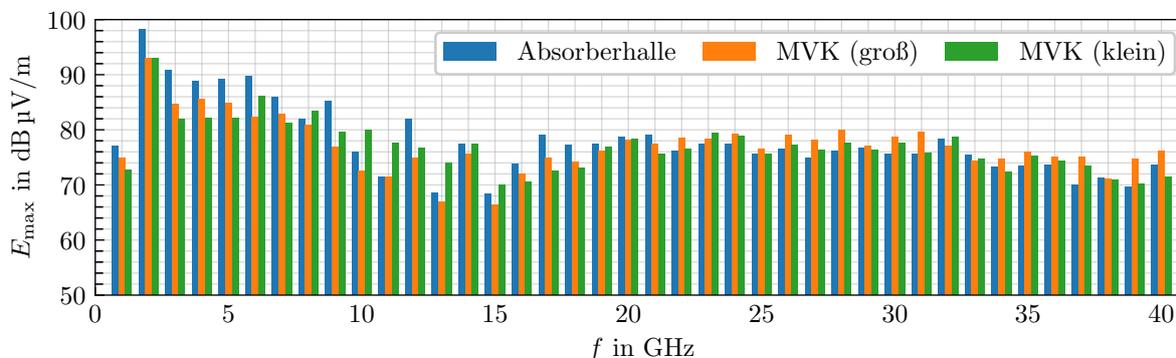
Als alternative Messumgebung kann die maximale Emission eines Prüflings in einer Modenverwirbelungskammer erfasst werden. Der Messaufwand kann aufgrund der Funktionsweise der Modenverwirbelungskammer dadurch verringert werden, dass die gesamte abgestrahlte Leistung ohne Drehung des Prüflings oder Neigung der Antenne aufgenommen wird. Zusätzlich stellt die Modenverwirbelungskammer aufgrund einer höheren Messdynamik geringere Anforderungen an die verwendete Messtechnik. Abbildung 3.29c zeigt den Vergleich der detektierten maximalen Emission des Prüflings in den verschiedenen Messumgebungen.



(a) Messaufbau und Prüfling in der Absorberhalle



(b) Messaufbau und Prüfling in der Modenverwirbelungskammer



(c) maximal detektierte Emission als elektrische Feldstärke

Abbildung 3.29: Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz

¹⁶ von Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, Dipl.-Ing. Max Rosenthal, Dr.-Ing. Moustafa Raya, Dr.-Ing. Jörg Petzold

Zusammenfassend empfiehlt die Studie die bevorzugte Verwendung von Modenverwirbelungskammer für Emissionsmessungen im Frequenzbereich von 6 GHz bis 40 GHz, da sich die Unsicherheit der etablierten Verfahren, aufgrund der Unterabtastung, nur mit unpraktikablen Messzeiten verringern lässt.

Abschätzung der optimalen Polynomordnung für den Vector-Fitting-Algorithmus¹⁷

Der Vector-Fitting-Algorithmus ist eine weit verbreitete Methode für die Makromodellierung komplexer Systeme aus simulativen oder messtechnisch bestimmten Frequenzgängen. Die Methode wurde erstmals im Jahr 1999 von Björn Gustavsen vorgestellt und in späteren Jahren weiter verbessert. Im Kontext der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) wird der Vector-Fitting-Algorithmus zur Ableitung von Ersatzschaltbildmodellen verwendet. Solche Modelle ermöglichen unter anderem eine effiziente Zeitbereichssimulation in Schaltungssimulatoren wie z. B. SPICE.

Die Anwendung des Vector-Fitting-Algorithmus setzt die Kenntnis der zu erwartenden Polynomordnung des zu modellierenden Frequenzgangs voraus. Die Genauigkeit und Konvergenz des Algorithmus ist dabei stark von der gewählten Polynomordnung abhängig. Dadurch ergibt sich eine Einschränkung in Anwendungsfällen, bei denen die Genauigkeit des Modells weniger wichtig ist als die Abschätzung der zugrunde liegenden physikalischen Eigenschaften und bei denen keine Vorkenntnisse über die Polynomordnung des zu modellierenden Frequenzgangs bestehen. Zur Lösung dieses Problems werden in der Literatur im Allgemeinen mehrerer Konvergenz- und Schwellenwertparameter vorgeschlagen, die empirisch ermittelt werden müssen.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode bietet eine einfache, aber effiziente Möglichkeit zur Abschätzung der optimalen Polynomordnung für den Vector-Fitting-Algorithmus. Basierend auf der Definition einer Zielfunktion, die das Gleichgewicht zwischen Verzerrung und Varianz des Vector-Fitting-Modells beschreibt, wird die optimale Polynomordnung durch die Lösung eines Optimierungsproblems geschätzt. Darüber hinaus werden Grenzen für einen Gewichtungsparemeter, der den Kompromiss zwischen der Genauigkeit der Modellfunktion und der verwendeten Polynomordnung steuert, durch die Linearisierung der Kostenfunktion abgeleitet. Dadurch macht die Methode empirische Schwellen- oder Konvergenzkriterien überflüssig. Mithilfe künstlicher Funktionen wird die vorgeschlagene Methode evaluiert und es wurde festgestellt, dass unter den gegebenen Grenzen die genaue Wahl des Gewichtungsparemters keinen Einfluss auf die Schätzung der optimalen Polynomordnung hatte. Das Verhalten der Methode wurde auch bei verschiedenen Signal-Rausch-Verhältnissen untersucht und als robust befunden. Darüber hinaus wurde das Verfahren des Goldenen Schnittes als recheneffizienter Ansatz zur Lösung des Optimierungsproblems vorgestellt.

IEMI-Analyse von zivilen Drohnen: Extraktion komplexer natürlicher Resonanzen aus polarimetrischen Radarquerschnittsmessungen¹⁸

Kleine unbemannte Luftfahrzeuge (sUAVs) könnten aufgrund zunehmender technologischer Möglichkeiten und sinkender Kosten eine wichtige Rolle in der zukünftigen Mobilität spielen. Allerdings steigt mit diesem Trend auch das Potenzial für kriminelle oder terroristische Nutzung, wie die wachsende Anzahl von Vorfällen an Flughäfen zeigt.

Durch den Einsatz leistungsstarker elektromagnetischer Quellen können in den elektronischen Komponenten der Drohne störende Ströme und Spannungen induziert werden, die zur Beeinträchtigung oder sogar zur Zerstörung der Drohnenelektronik führen können. Für einen gezielten

¹⁷ von Dipl.-Ing. Max Rosenthal

¹⁸ von Dipl.-Ing. Max Rosenthal

3 Forschung

Einsatz solcher Quellen müssen dafür kritische Frequenzen ermittelt und effiziente Kopplungspfade untersucht werden.

In dieser Studie wird dafür der Ansatz verfolgt die elektromagnetische Impulsantwort der Drohne durch eine kleine Anzahl gedämpfter Sinuswellen zu charakterisieren. Im Frequenzbereich manifestieren sich die komplexen Frequenzen dieser Sinuswellen als Singularitäten und beschreiben dabei die Eigenfrequenzen des Systems.

Der in vorherigen Arbeiten entwickelte Messaufbau und die Methodik zur Extraktion der Eigenfrequenzen aus Radarquerschnittsmessungen für einfach polarisierte Radare, wird in dieser Studie auf polarimetrisches Radarsystem ausgeweitet. Die Ergebnisse der Studie beinhalten die Überprüfung und Diskussion geeigneter Methoden zur Kalibrierung des Radarsystems, der Nachbearbeitung der erfassten Messdaten, und der Extraktion der Resonanzen. Die vorgeschlagene Methodik wird anhand von Mess- und Simulationsergebnissen einfacher Resonanzmodelle validiert und auf handelsübliche sUAVs angewendet (siehe Abbildung 3.30).

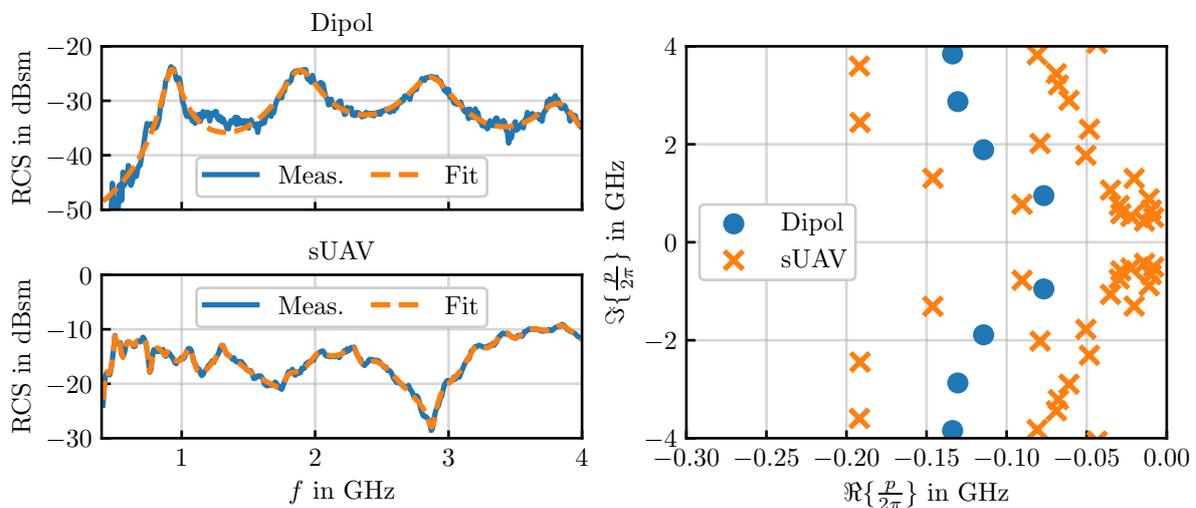


Abbildung 3.30: Gemessener Radarquerschnitt, extrahierte komplexe Frequenzen und polarimetrischer Radaraufbau

3.3.3 Promotionen

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

3.3.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] B. Eugster, S. Fath-Keiser, S. Leist, M. Magdowski und J. F. May, *Chapter „Digital examination practice – scenarios, perspectives, recommendations“ in the book „Digital Assessment in Higher Education – Perspectives of a European Community of Practice“*, M. Bandtel, M. Baume, E. Brinkmann u. a., Hrsg. Office of Hochschulforum Digitalisierung (HFD) at Stifterverband, Nov. 2022, Bd. 4, S. 165.
- [2] M. Magdowski, „Warum Hybridlehre bisher nicht (so richtig gut) funktioniert und was wir (noch) ändern müssen“, *Perspektiven auf Lehre. Journal for Higher Education and Academic Development*, Jg. 1, Nr. 3, S. 10–16, März 2023, ISSN: 2750-4468. DOI: 10.55310/jfhead.30.
- [3] B. Hoepfner und R. Vick, „A Three-Phase Frequency-Fixed DSOGI-PLL With Low Computational Effort“, *IEEE Access*, Jg. 11, S. 34 932–34 941, Apr. 2023, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3265299.
- [4] J. Petzold, M. Magdowski und R. Vick, „Monte Carlo Simulation of a Physical Random Unintentional Radiator as a Basis for Statistics in Fully Anechoic Room Measurements“, in *2023 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Krakow, Poland, Sep. 2023, S. 1–6. DOI: 10.1109/EMCEurope57790.2023.10274341.
- [5] J. Petzold und R. Vick, „Efficient Calculation of the Radiation of Wires with Arbitrary Trajectories in Cavities“, in *2023 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, IEEE, Okt. 2023. DOI: 10.1109/iceaa57318.2023.10297719.
- [6] M. Rosenthal und R. Vick, „Estimating the Optimal Polynomial Order for the Vector Fitting Algorithm“, in *2023 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Krakow, Poland, Sep. 2023, S. 1–6. DOI: 10.1109/EMCEurope57790.2023.10274284.
- [7] M. Rosenthal und R. Vick, „IEMI Analysis of Civil Drones: Extraction of Complex Natural Resonances from Polarimetric Radar Cross-Section Measurements“, in *2023 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, IEEE, Okt. 2023. DOI: 10.1109/iceaa57318.2023.10297809.
- [8] N. Vorhauer-Huget, L. Briest, A. Pharasher und M. Magdowski, „Simulation of the Scattering Parameters of a Rectangular Waveguide Filled with Different Dielectric Samples“, in *Photonics and Electromagnetics Research Symposium, also known as Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Session about „Computational Electromagnetics, Hybrid Methods and EMC“*, Prague, Czech Republic, Juli 2023. Adresse: <https://prague2023.piers.org/preview.html?pid=230204202646>.
- [9] M. Magdowski und T. Schallschmidt, „Spannung, Spiel und was zum Programmieren!? – Das ‚LEGO-Praktikum‘ als gamifizierter Programmierkurs“, in *Tagungsband zum 5. Symposium zur Hochschullehre in den MINT-Fächern*, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm: BayZiel – Bayerisches Zentrum für Innovative Lehre, Sep. 2023. Adresse: <https://didaktikzentrum.de/images/cwattachments/mint-symposium-2023.pdf>.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] S. Dragoumanos, M. Francis, R. Kalra, M. Magdowski, S. Paiman und S. Parui, „STEM Champions Round Table“, in *IEEE STEM Summit*, IEEE Pre-University Education Coordinating Committee, Dez. 2022.
- [2] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 27 – Awkward Silence in Videokonferenzen, ChatGPT in der Bildung & Zeiteffizienz“, in *Bits & Bytes*, Dez. 2022. Adresse: <https://youtu.be/rE6ykgvzi10>.
- [3] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 28 – Wir bereiten Inhalte für die #digiPH6 vor! ‚Massenvorlesungen 2.0 streamen‘“, in *Bits & Bytes*, Jan. 2023. Adresse: <https://youtu.be/0M61-4TCUSY>.
- [4] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 29 – Live-Stream des Beitrags ‚Massenvorlesungen 2.0 streamen‘ zur #digiPH6“, in *Bits & Bytes*, Jan. 2023. Adresse: <https://youtu.be/19i-dDSsb94>.
- [5] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 30 – Lagerfeuer (digital) bei Reddit, #LEGOPraktikum2023, Länge von Lernvideos“, in *Bits & Bytes*, Feb. 2023. Adresse: <https://youtu.be/n88dTR2zvmY>.
- [6] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 31 – ChatGPT auf der Meta-Bildungsebene, Reddit-Funde, Teachflix, Huddly-Kameras“, in *Bits & Bytes*, März 2023. Adresse: <https://youtu.be/STU75zadjYc>.
- [7] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 32 – Der aktuelle Blick auf die Hybridlehre und KI-Werkzeuge zur Quizerstellung“, in *Bits & Bytes*, Mai 2023. Adresse: https://youtu.be/Z_xbwqmGGdk.
- [8] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 33 – Flying Faculty in Frankreich & Israel, Twitter2X & ein minimales Streamsetup“, in *Bits & Bytes*, Aug. 2023. Adresse: <https://youtu.be/ibq0803atDM>.
- [9] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 34 – EDU-Podcasts, Technik und Lehr-Formate“, in *Bits & Bytes*, Aug. 2023. Adresse: <https://youtu.be/-H41nXA0FOI>.
- [10] H. Steinbeck und M. Magdowski, „Bit-Gespräch Folge 35 – inklusive Hybridlehre, 17 Thesen zur Präsenzlehre und Good-Practice aus Graz“, in *Bits & Bytes*, Okt. 2023. Adresse: <https://youtu.be/6-gEEI47VE4>.
- [11] G. Bachmann, M. Magdowski, D. Sattink Rath und I. Wertz, „Der hybride Campus als Zukunftsmodell?“, in *Leibniz-Instituts für Wissensmedien (IWM)*, Feb. 2023. Adresse: <https://www.e-teaching.org/community/communityevents/onlinepodium/der-hybride-campus-als-zukunftsmodell>.
- [12] M. Magdowski, „Hybride Lehrformate zum Mitmachen – Vor-Ort- und Online-Teilnehmende gleichermaßen einbinden und aktivieren“, in *Explore2Teach Praxiswerkstatt für hybride Lehre Workshop. Konzipieren – Ausprobieren – Weiterdenken*, Martin-Luther-Universität Halle, Feb. 2023. Adresse: <https://bit.ly/Explore2Teach>.
- [13] M. Magdowski, „Gute Lehre in hybriden Szenarien für heterogene Zielgruppen – Best-Practice-Beispiele für Technik und Didaktik“, in *Arbeitsgemeinschaft der Offenen Hochschulen (AG-OH)*, Deutsche Gesellschaft für wissenschaftliche Weiterbildung und Fernstudium (DGWF) e. V., März 2023. Adresse: <https://bit.ly/DGWF-Hybrid>.
- [14] M. Magdowski, „Appetit auf Hybrid? – Praktische Rezepte für Technik und Didaktik in synchronen Lehrformaten aus den Zutaten ‚Online‘ und ‚Präsenz‘“, in *Beitrag zum E-Learning-Tag 2023 am 05. Juni an der Universität Jena*, Juni 2023. Adresse: https://bit.ly/appetit_auf_hybrid.

- [15] M. Magdowski, „Hybride Lehrformate erfolgreich gestalten“, in *Beitrag zum Workshop on E-Learning 2023 an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig*, Sep. 2023. Adresse: https://bit.ly/htwk_hybrid.
- [16] M. Magdowski, „Digitale Tools in hybriden Lehrformaten einsetzen“, in *Beitrag zu den Hochschuldidaktischen Wochen 2023 an der h2*, Sep. 2023. Adresse: https://bit.ly/esalsa_hybrid.
- [17] M. Magdowski, „Akademische Integrität bei Laborprotokollen – Plagiate proaktiv vermeiden und effektiv erkennen“, in *Workshop und Diskussionsrunde an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*, März 2023. Adresse: https://bit.ly/noplag_protokolle.
- [18] M. Magdowski, „Wie kann mir ChatGPT helfen, meine Elektrotechnik-Prüfung zu bestehen?“, in *Workshop und Diskussionsrunde an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg*, Mai 2023. Adresse: <https://bit.ly/chatgpt4get>.
- [19] M. Magdowski, „Chancen und Herausforderungen von ChatGPT in der ingenieurwissenschaftlichen Lehre“, in *Präsentation zum Tag der Lehre am 31. Mai 2023*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Mai 2023. Adresse: <https://bit.ly/tdl2023ovgu>.
- [20] M. Magdowski, „Schau mir in die Lösung, Kleines! – Personalisierbare Aufgaben und anonymer Peer Review in den Ingenieurwissenschaften“, in *TalkseTeach im eTeach-Netzwerk Thüringen „Medienbereichertes Lehren und Lernen“*, Mai 2023. Adresse: https://bit.ly/talks_at_eteach.
- [21] M. Magdowski, „Chancen und Herausforderungen von ChatGPT – Wie kann mir ChatGPT helfen, meine Elektrotechnik-Prüfung zu bestehen?“, in *Präsentation zur Herbsttagung des Fachbereichstags Elektrotechnik und Informationstechnik, FBTEI e. V.*, Hochschule Fulda, Nov. 2023. Adresse: <https://youtu.be/qejosVg8wPg>.
- [22] M. Magdowski, „Alternative Prüfungsformate“, in *Online-Workshop für das Netzwerk hdw nrw*, Nov. 2023. Adresse: <https://bit.ly/hdwPruef>.
- [23] M. Magdowski, „Offene und alternative Prüfungsformate“, in *Schulinterne Lehrer*innen-Fortbildung*, Werner-von-Siemens-Gymnasium Magdeburg, Aug. 2023. Adresse: https://bit.ly/wvsg_schilf.
- [24] M. Magdowski, „Prüfungen, in denen Studierende gern zeigen, was sie können“, in *Online-Workshop für das Netzwerk hdw nrw*, Aug. 2023. Adresse: <https://bit.ly/lieblingspruefung>.
- [25] M. Magdowski, „Theoretische und physikalische Grundlagen der EMV“, in *Workshop auf der Fachmesse für elektromagnetische Verträglichkeit EMV 2023*, Stuttgart, März 2023.
- [26] M. Magdowski, „Einführung in die elektromagnetische Modellierung“, in *Workshop auf der Fachmesse für elektromagnetische Verträglichkeit EMV 2023*, Stuttgart, März 2023.
- [27] H. Hirsch, A. Barchanski, C. Bednarz und M. Magdowski, „Forum ‚Ask the Experts‘ zur EMV-Simulation“, in *Fachmesse für elektromagnetische Verträglichkeit EMV 2023*, Stuttgart, März 2023.
- [28] W. Honekamp und M. Magdowski, „Hybride Lehre: Vorteile, Nachteile, Erfahrungen und Herausforderungen“, in *LehreHochN-Netzwerktagung*, NORDMETALL-Stiftung Hamburg, Apr. 2023. Adresse: <https://haldensleben.rotary.de/>.
- [29] M. Magdowski, „Why the Wire is on Fire – Electromagnetic Field Coupling to Transmission Lines“, in *International Electrostatic Discharge Workshop (IEW) der EOS/ESD Association*, Tutzing, Mai 2023. Adresse: <https://www.esda.org/assets/Events/e85379a88b/2023-IEW-German-Program.pdf>.

- [30] M. Magdowski, „Als Murphy sein Gesetz formulierte, wusste er noch nichts von hybriden Lehrformaten!“, in *Science Slam zum Thema „Sharing Digital Teaching-Experiences“*, Jubiläumstagung „20 Jahre e-teaching.org“, Tübingen, Juni 2023. Adresse: https://bit.ly/science_slam_tuebingen.
- [31] M. Magdowski, „Calculation of conversion factors for the RVC method in accordance with CISPR 16-4-5“, in *Electromagnetic compatibility of information technology equipment, multimedia equipment and receivers*, CISPR/I MT7 Meeting, Madrid, Juni 2023. Adresse: https://bit.ly/cispr_16_4_5.
- [32] T. Kahle und M. Magdowski, „EIG022 Einheiten (mit Mathias)“, in *Eigenraum – ein Mathepodcast*, Magdeburg, Aug. 2023. Adresse: <https://eigenpod.de/eig022-einheiten/>.
- [33] S. Vogel und M. Magdowski, „#49 CROSSTALK – Mathias Magdowski: Units For EMC Engineers“, in *The EMC Society Podcast: Hear Us Above the Noise*, Nov. 2023. Adresse: <https://ieeemcsocietypodcast.buzzsprout.com/1804004/13813543-49-crosstalk-mathias-magdowski-units-for-emc-engineers>.
- [34] F. Leferink, V. Mariani Primiani, V. Rajamani u. a., „EMC Marathon – Workshop: ‚You had me at ‚Reverb ...‘!“, in *2023 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Sep. 2023.
- [35] M. Magdowski, „Grundlagen der Elektromagnetischen Verträglichkeit“, in *EMV Boot Camp 2023 des deutschen EMV-Chapters der IEEE EMC Society*, Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Sep. 2023. Adresse: <https://r8.ieee.org/germany-emc/activities/emc-boot-camps/>.
- [36] M. Magdowski und T. Schallschmidt, „Spannung, Spiel und was zum Programmieren!? – Das ‚LEGO-Praktikum‘ als gamifizierter Programmierkurs“, in *Aufzeichnung eines Pecha-Kucha-Vortrags in der Session VI „Wie bringen wir Studierende zum gemeinsamen Handeln? – Lernen in Projekten“ beim 5. Symposium zur Hochschullehre in den MINT-Fächern am 21. und 22. September 2023*, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm: BayZiel – Bayerisches Zentrum für Innovative Lehre, Sep. 2023. Adresse: https://youtu.be/5VD5_jwKMMs.
- [37] M. Magdowski, „Why the Wire is on Fire – Electromagnetic Field Coupling to Transmission Lines“, in *Online Distinguished Lecturer Series*, IEEE EMC Society, Sep. 2023. Adresse: https://bit.ly/wire_on_fire.
- [38] M. Magdowski, „Well Stirred is Half Measured – EMC Tests in Reverberation Chambers“, in *Online Distinguished Lecturer Series*, IEEE EMC Society, Okt. 2023. Adresse: <https://youtu.be/Qxf8pkK2sIg>.
- [39] M. Magdowski, S. Bach und J. Graubner, „Personalisierte Aufgaben mit Peer Review in der E-Technik“, in *Posterpräsentation auf der eTeach-Jahrestagung – Zwischen Bibi und Bot: Studierende im Blick.*, Fachhochschule Erfurt, Nov. 2023. Adresse: <https://cloud.ovgu.de/s/4sGiPPW9SHBLyey>.
- [40] M. Roth, K. Adenstedt und M. Magdowski, „Folge 74 – Bildung und Digitales – Wie Sachsen-Anhalts Schulen für morgen fit werden.“, in *Podcast „Digital leben“ des Mitteldeutschen Rundfunks (MDR)*, Nov. 2023. Adresse: <https://bit.ly/digital-leben-74>.
- [41] M. Magdowski, „Als Murphy sein Gesetz formulierte, wusste er noch nichts von hybriden Lehrformaten!“, in *9. Hörsaalslam der Ingenieure ohne Grenzen*, OVGU Magdeburg, Nov. 2023.

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 ins 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 angewandten Methoden sind 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 2023 bearbeiteten Themen mit Bezug auf leistungselektronische Bauelemente und Systeme werden im folgenden Abschnitt detaillierter erläutert.

3.4.2 Forschungsprojekte

Substantial increase of power cycling capability of SiC MOSFETs after preconditioning¹⁹

Motivation The threshold voltage V_{th} of SiC MOSFETs is affected by trapping mechanisms, where a phenomenological distinction between reversible short-term and more permanent long-term effects is necessary. In particular the latter have to be considered for power cycling (P/C), as they change the device characteristics – in particular the on-state resistance $R_{DS,on}$ – over time and might thus be classified as a chip-related degradation. Such a chip-related parameter drift is basically undesired during power cycling tests which are performed with the aim of an accelerated and application-close qualification of the package under thermo-mechanical stress.

¹⁹von Dr.-Ing. Carsten Kempniak

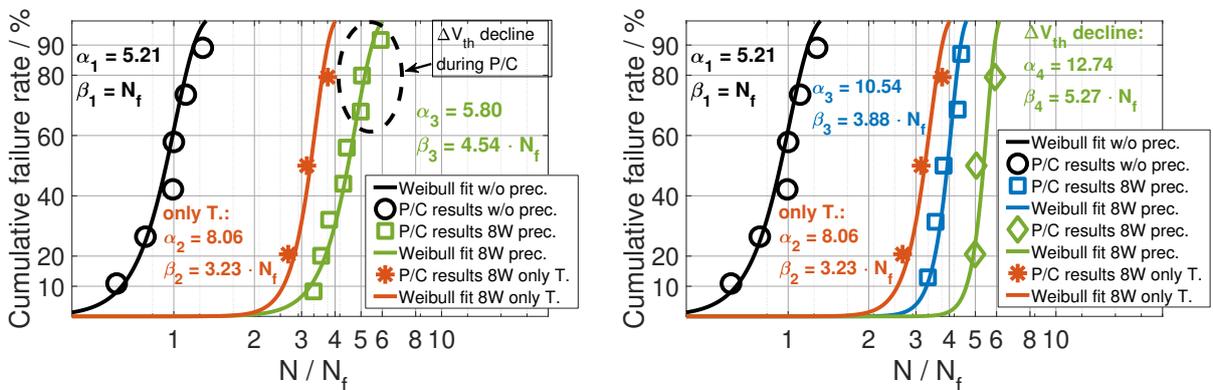
Approach In order to saturate the V_{th} increase during P/C, some DUTs have been preconditioned beforehand by applying the same gate profile (15 V for 3 s and -10 V for 6 s at 150°C) for a duration of 8 weeks. First results indicated a fivefold increase in lifetime after 8 weeks of preconditioning. Since such a pronounced impact of an V_{th} increase of about 100 mV was not expected, further influencing factors have to be considered: The P/C capability of devices with Al-bonds is highly affected by the material properties of aluminum.

Recently published P/C results of Si IGBTs after temperature treatment (TT) reveal an increase of P/C capability by about 40 % mainly caused by an increased grain size, lower grain count and material softening after heating the DUTs to 170°C for several days, resulting in delayed bond wire (BW) lift-offs compared to fresh devices. Therefore, a second control group of DUTs which had been preconditioned solely by TT at 150°C and $V_{GS} = 0$ V for 8 weeks has been additionally power cycled. This way P/C test results of fresh DUTs, DUTs with TT only and with additionally suppressed ΔV_{th} have been compared in this study, permitting a quantitative lifetime comparison for the first time.

Results The comparative lifetime results of the yet performed P/C tests are displayed in Fig. 3.31, based on Weibull analysis: The lifetime is normalised to the characteristic lifetime β_1 of the DUTs which had been as usual power cycled without preconditioning.

Obviously, both preconditioning approaches substantially increase the lifetime: TT alone significantly delays BW lift-offs; this effect seems to be much more pronounced for the SiC devices. Preconditioning with a pulsed V_{GS} , however, is even more effective due to the suppression of ΔV_{th} as shown in Fig. 3.32:

One reason is that $\Delta V_{DS,on}$ significantly increases due to ΔV_{th} ; consequently the limit for failure detection is crossed at the first BW lift-off when the gate has not been preconditioned; otherwise, ΔV_{th} is mostly suppressed and two BW lift-offs are necessary to detect the failure. It is noticeable that the DUTs with the highest P/C capacity reveal even a V_{th} decline during the test; this can be linked to the switching speed and corresponding V_{GS} over- and undershoots during the preconditioning.



(a) Without distinction between ΔV_{th} reduction and decline (b) With distinction between ΔV_{th} reduction and decline

Figure 3.31: Comparative lifetime results for the parameters $\Delta T_{vj} = 100$ K, $T_{vj,min} = 40^\circ\text{C}$, $t_{on} = 3$ s, $t_{off} = 6$ s, $V_{GS,on} = 15$ V, $V_{GS,off} = -10$ V

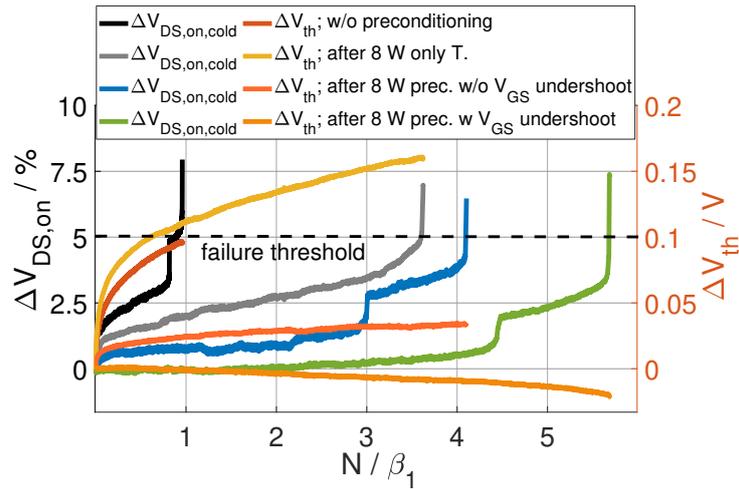


Figure 3.32: Typical $\Delta V_{DS,on,cold}$ and ΔV_{th} monitored during the performed P/C tests

Measurement of GaN HEMTs' Temperature-Dependent On-State Resistance in Switching Operation²⁰

GaN HEMTs allow to achieve high switching frequency maintaining high converter efficiency. However, during switching operation, the on-state resistance of GaN devices rises not only depending on temperature, but temporarily also on voltage stress, which is different from MOSFETs. This research proposes a measurement setup to precisely evaluate the influence of the voltage and also current stress on $R_{ds,on}$ of GaN devices. To be able to operate the scope with a high vertical resolution adapted to the transistor's conduction voltage drop without saturating the input amplifier while the transistor is blocking, a clamp circuit has been used to capture v_{ds} . A modified double-pulse circuit has been developed to avoid the influence of initial high blocking voltage before the first pulse (see Fig. 3.33).

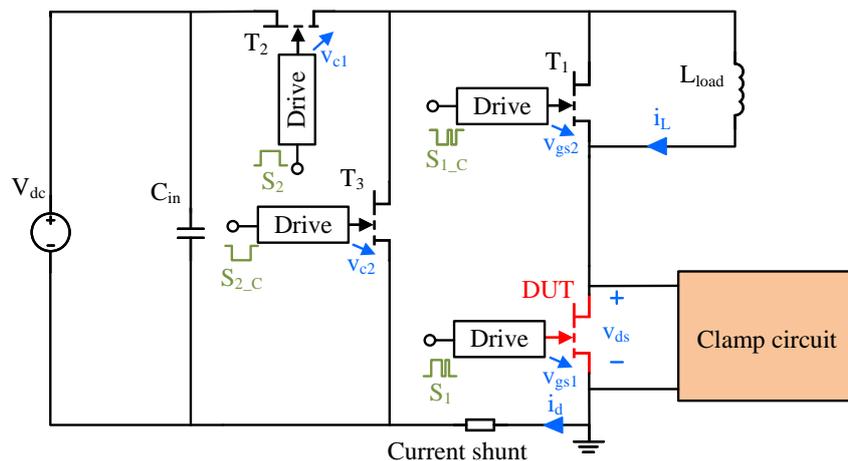


Figure 3.33: Schematic of the proposed modified double-pulse circuit

Under hard-switching conditions, the effects of off-state voltage stress during switching operation and temperature on the dynamic $R_{ds,on}$ of two commercial GaN devices – device A and device B – with different structures have been measured and investigated. It has been found that in the moderate voltage range, both DUTs exhibit non-monotonic voltage stress dependence, with the highest $R_{ds,on}$ value at 200 V. Device A exhibits a lower normalised dynamic $R_{ds,on}$ than

²⁰von M. Sc. Tianyu Li

device B. It is concluded that the device structure and semiconductor manufacturing technology also influence the $R_{ds,on}$ behaviour during operation: The voltage stress alters the temperature dependence of $R_{ds,on}$, resulting in different characteristics as well. At least device A however shows a fairly linear temperature dependence and – at low voltage – also voltage dependence of $R_{ds,on}$ (see Fig. 3.34).

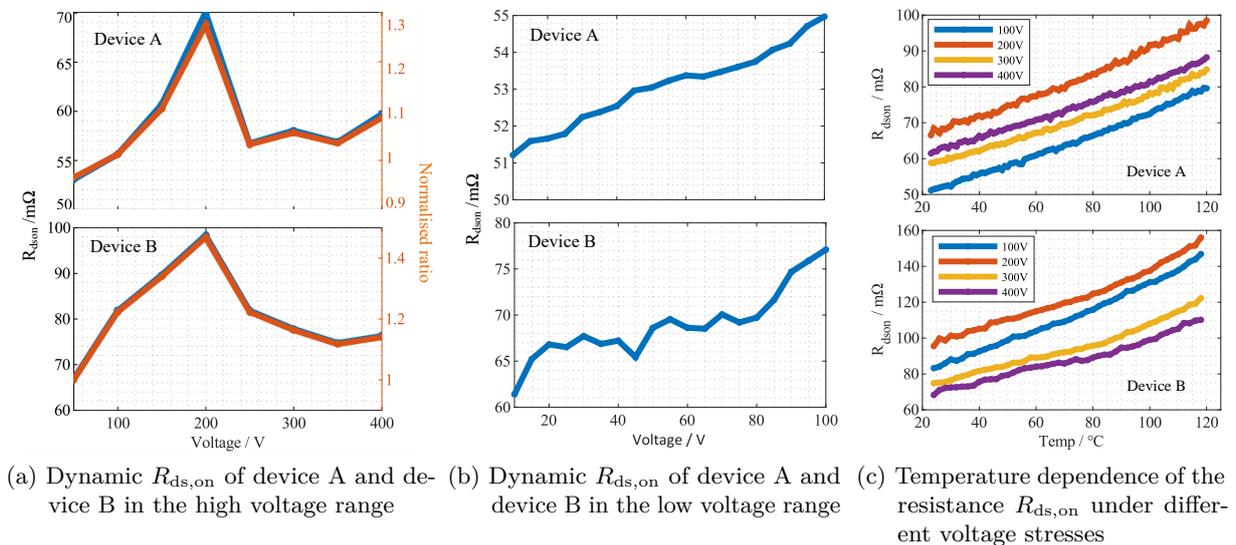


Figure 3.34: Measurement of GaN HEMTs' temperature-dependent on-state resistance in switching operation

Investigation of the Temperature Measurement via $V_{SD}(T)$ Method applied to Paralleled SiC MOSFET Chips During Power Cycling²¹

Introduction SiC MOSFETs are increasingly becoming industry standard. Therefore it is necessary to be able to make a statement about their long-term reliability. This will typically include DC power cycling whereby package-related failure mechanisms can be determined and the lifetime can be estimated. For an accurate interpretation of such power cycling results, a precise temperature measurement is necessary. For this purpose, the $V_{SD}(T)$ method is applied to SiC MOSFETs, which utilises the voltage drop across the body diode when a small measurement current flows through it, while the channel is closed.

For high current applications MOSFET chips need to be paralleled; this can either be achieved by externally connecting components or by a parallel connection within a component such as a module. Ideally the current distribution between the chips and the power dissipation would be equal, but differences are to be expected e.g. because of tolerances, asymmetrical layout or different cooling conditions. A resulting inhomogeneous temperature distribution can only be measured with the $V_{SD}(T)$ method when the single chips are accessible, while a parallel connection in a module would just yield a single temperature value.

As the measurement current may distribute inequally between the chips while the reverse voltage is the same, this is not conclusive to determine the potentially different junction temperatures. The aim of this work is to investigate this interrelationship more in detail to achieve meaningful temperature measurements from parallel connected SiC MOSFETs.

²¹von M. Sc. Kevin Ladentin

Approach and first results There are several ways to do so based on the principle shown in Fig. 3.35:

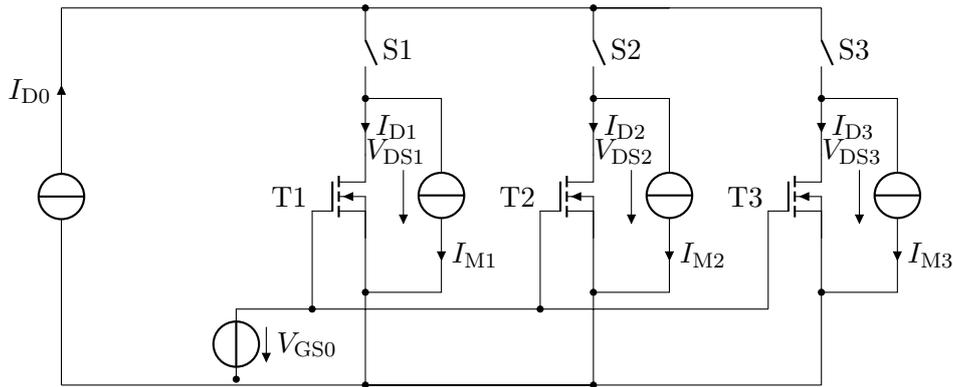


Abbildung 3.35: Principle circuit with three paralleled chips used for the investigations

Power cycling is effectuated by heating the MOSFET chips T1, T2 and T3 – being turned on with $V_{GS0} > V_{GS,th}$ and parallel connected through the closed switches S1, S2 and S3 – with a high forced current I_{D0} . In the subsequent cooling phase, $I_{D0} = 0$ and $V_{GS0} < 0$ are set in order to fully close the channel. The MOSFETs thus are turned off and only a small measurement current originating from the current sources will flow solely through the body diodes. When S1, S2 and S3 remain closed, $I_{M1} + I_{M2} + I_{M3} = -(I_{D1} + I_{D2} + I_{D3})$ will apply which corresponds to the case when a single readout is taken from the parallel connection. When in contrast S1, S2 and S3 are open, $I_{M1} = -I_{D1}$, $I_{M2} = -I_{D2}$ and $I_{M3} = -I_{D3}$ apply which permits to obtain the individual chip temperatures through V_{DS1} , V_{DS2} and V_{DS3} .

This is illustrated with the exemplary calibration curves according to Fig. 3.36: To obtain them, the respective MOSFET is tempered in a temperature cabinet until a thermal equilibrium at the respective temperature is reached and the reverse voltage-current characteristics with closed channel are taken as exemplarily depicted in Fig. 3.36a for 30 °C und 150 °C. Considering an operating point with a low measurement current permits to derive the calibration curve depicted in Fig. 3.36b.

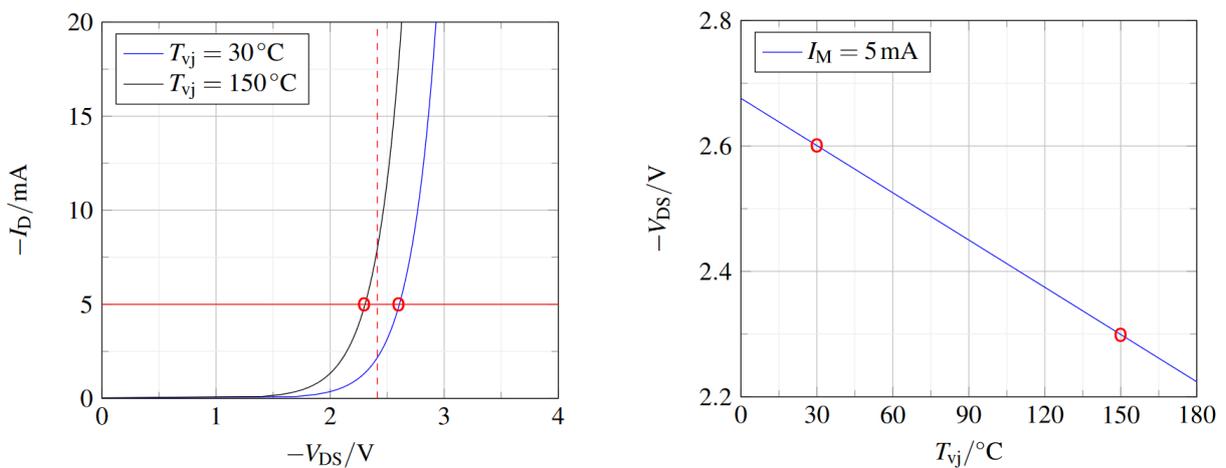


Abbildung 3.36: Investigation of the temperature measurement via $V_{SD}(T)$ method applied to paralleled SiC MOSFET chips during power cycling

As an extreme example to clarify the principle it is assumed that one chip would be heated to 150 °C and the other only to 30 °C. When measuring the chips separately as explained above, these temperatures would be determined through the $-V_{DS}$ readout at an individual current $-I_D = 5 \text{ mA}$.

When however measuring the parallel connection, the operating points as marked with the vertical line in Fig. 3.36 would be met with an unsymmetric distribution of measurement current at equal reverse voltage $-V_{DS}$, yielding a single temperature readout of 105 °C. This would reflect a temperature slightly above the average due to the non-linear diode characteristic.

Consequently this kind of temperature measurement can only lead to meaningful results if the actual temperature differences between the chips are small enough to have no significant impact on lifetime. In the considered example this would obviously not be the case because in a power cycling test the hotter chip would fail much earlier than expected from the common temperature readout.

Battery technologies to secure stable grid operation – GridBatt²²

Battery-based energy storage systems (BESS) may contribute to the stability of the power system because of their quick reaction upon changes of generation from renewable sources or load. Simulations have been carried out to analyse and optimise the design and interoperation between system, converter and battery.

In the simulation model, built with partners from TU Clausthal and FhG IISB Freiberg, the power system can be exposed to situations such as three phase short circuit or sudden change of load and the impact of these events on the battery and the converter can be considered and optimised by adapting the control system.

In Fig. 3.37, the reaction of the BESS is illustrated when a fluctuation of frequency in the power system occurs. Active power will be fed-in to compensate the change of frequency. To avoid exceeding the converter's power rating, it is limited to 1 MW.

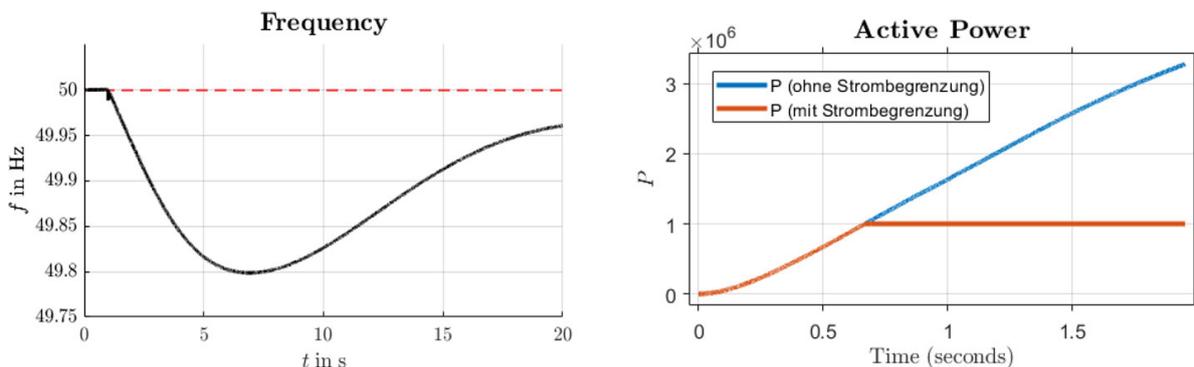


Abbildung 3.37: Frequency fluctuation and the compensation operation from active power

Further investigations carried out by the research partners refer to the impact on the grid and the battery.

²²von M. Sc. Wenwen Yang

3.4.3 Promotionen

Dr.-Ing. Carsten Kempiak: Lastwechselmethoden für Siliziumkarbid-MOSFETs unter Berücksichtigung von deren Schwellspannungsinstabilität

Gutachter:

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

verteidigt am 28. August 2023 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (siehe Abbildung 3.38)



Abbildung 3.38: Gratulation an Carsten Kempiak am Otto-von-Guericke-Denkmal

Leistungselektronik, die auf IGBTs aus Silizium (Si) basiert, ermöglicht bereits heute – beispielsweise durch den Ersatz netzgekoppelter Industrieantriebe durch effizientere drehzahlvariable Antriebe – eine erhebliche Einsparung elektrischer Energie. Der Einsatz von Halbleitern auf Basis neuer Materialien mit großer Bandlücke wie Siliziumkarbid (SiC) bietet darüber hinaus zahlreiche Anwendungsvorteile, die zu effizienteren, kleineren und leichteren Elektronikkomponenten und -systemen führen, was insbesondere für mobile Anwendungen synergistische Vorteile verspricht: So reduziert eine Gewichtsreduktion der Elektronik auch mittelbar den Gesamtenergieverbrauch, was zu Reichweitenerhöhungen führt.

Die Absicherung der Zuverlässigkeit dieser noch jungen Technologie über die gesamte Lebensdauer der Anwendung stellt hierbei eine bestehende Herausforderung zu deren Marktdurchdringung dar. Ein wesentlicher Teil des Qualifizierungsprozesses von Leistungshalbleiterbauelementen stellt die Absicherung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Aufbau- und Verbindungstechnik mittels

Lastwechselltests dar, bei denen thermo-mechanische Beanspruchungen der Anwendung beschleunigt in einem Prüfstand nachgebildet werden. Die Anwendung dieses etablierten Testverfahrens auf SiC-MOSFETs bringt diverse Herausforderungen mit sich: So beeinflussen Instabilitäten der Schwellspannung (U_{th}) unter anderem die Sperrschichttemperaturerfassung sowie die Identifikation von Degradation und Ausfall während der Testdurchführung. An beide Kriterien besteht jedoch eine Forderung nach hoher Genauigkeit.

Innerhalb dieser Arbeit wird ein Konzept zur ΔU_{th} -Erfassung während einer Lastwechselprüfung erarbeitet und umgesetzt. Hierauf aufbauend erfolgt zunächst eine umfangreiche Charakterisierung von Schwellspannungsinstabilitäten unter lastwechseltypischen Gate-Bedingungen. Es werden die wesentlichen Einflussfaktoren herausgearbeitet und deren Einfluss auf Lastwechselltests diskutiert sowie ein Konzept zur Unterdrückung unerwünschter Driteffekte während der Lastwechselprüfung mittels Vorkonditionierung abgeleitet.

Der Vergleich erster Lastwechselltests mit und ohne Vorkonditionierung validiert dessen Eignung und impliziert ferner einen signifikanten Einfluss von ΔU_{th} auf das Lastwechsellergebnis. Zusätzlich wird eine von U_{th} -Instabilitäten unabhängige Temperaturerfassung mittels chip-integriertem Sensor eingeführt und mit der etablierten $U_{SD}(T)$ -Methode verglichen. Im Ergebnis dieser Arbeit werden die wesentlichen Herausforderungen zur Anwendung von Lastwechselltests auf SiC-MOSFETs aufgezeigt, Methoden zum Umgang mit diesen erarbeitet und experimentell verifiziert. Exemplarische Untersuchungen erfolgen sowohl an speziell angefertigten Forschungsmustern als auch an käuflichen SiC-MOSFETs unterschiedlicher Hersteller und Spannungsklassen.

Dr.-Ing. Alexander Schiffmacher: Neue Methoden zur beschleunigten Validierung der Lebensdauer von höchst zuverlässigen Leistungshalbleitermodulen

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilde, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

verteidigt am 18. Juli 2023 an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Dr.-Ing. Michael Schlüter: Optimized commutation circuit for improved utilization of SiC

Gutachter:

- Prof. Dr.-Ing. Martin Pfof, Technische Universität Dortmund
- Prof. Dr.-Ing. Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

verteidigt am 08. Dezember 2023 an der Technischen Universität Dortmund

3.4.4 Veröffentlichungen

Zeitschriften- und Konferenzbeiträge

- [1] A. Lindemann, „10th ECPE SiC & GaN user forum – potential of wide bandgap semiconductors in power electronic applications: report of conclusions“, *Bodo's power systems*, S. 20–21, Mai 2023.

- [2] F. Wilhelmi, Y. Komatsu, S. Yamaguchi u. a., „Improving the Heat Dissipation and Current Rating of Ga₂O₃ Schottky Diodes by Substrate Thinning and Junction-Side Cooling“, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Jg. 38, Nr. 6, S. 7107–7117, Juni 2023. DOI: 10.1109/tpe1.2023.3250026.
- [3] K. Ladentin und A. Lindemann, „Using the Influence of Internal Gate Resistance on Gate Current Peak as TSEP for GaN HEMTs“, in *PCIM Europe 2023; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, 2023, S. 1–6. DOI: 10.30420/566091364.
- [4] T. Li, W. Yang und A. Lindemann, „Measurement of GaN HEMTs Temperature Dependent On-State Resistance in Switching Operation“, in *PCIM Europe 2023; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, 2023, S. 1–8. DOI: 10.30420/566091361.
- [5] C. Kempiak und A. Lindemann, „Compensation of Long-Term Drift Effects of SiC MOSFETs under Power Cycling Like Gate Conditions“, in *PCIM Europe 2023; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, 2023, S. 1–10. DOI: 10.30420/566091212.
- [6] F. Wilhelmi, Y. Komatsu, S. Yamaguchi u. a., „Switching Properties of 600 V Ga₂O₃ Diodes With Different Chip Sizes and Thicknesses“, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Jg. 38, Nr. 7, S. 8406–8418, Juli 2023, ISSN: 1941-0107. DOI: 10.1109/tpe1.2023.3260023.

Dissertationen und Bücher

- [1] C. Kempiak, „Lastwechselmethoden für Siliziumkarbid-MOSFETs unter Berücksichtigung von deren Schwellspannungsinstabilität“, Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2023. DOI: 10.24352/UB.OVGU-2023-102.

Beiträge zu Kolloquien u. a. Vorträge

- [1] C. Kempiak und A. Lindemann, „Substantielle Erhöhung der Lastwechselfestigkeit von SiC-MOSFETs nach Vorkonditionierung“, *52. Kolloquium Halbleiter-Leistungsbauelemente und ihre systemtechnische Anwendung*, Okt. 2023.

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
 - * 2. stellvertretender Vorsitzender des Fakultätentages für Elektrotechnik und Informationstechnik e. V.
 - 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 Kooperationen

Kooperation mit Brasilien²³

Die Partnerschaft zwischen der Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) besteht seit mehreren Jahren mit sehr positiven Ergebnissen. Die beiden Universitäten haben gemeinsame Projekte initiiert, um aktuelle Themen wie Elektromobilität oder Integration dezentraler Energieressourcen zu adressieren. Durch den akademischen und kulturellen Austausch wurden sowohl brasilianische als auch deutsche Forscher, Dozenten und Studierenden mit neuen Perspektiven und Erfahrungen bereichert. In diesem Zusammenhang, wurde Herr Mauro dos Santos Ortiz (siehe Abbildung 3.39b) im Februar 2023 als Gastwissenschaftler am LENA-Lehrstuhl aufgenommen.

Der Hauptzweck seines Aufenthaltes besteht darin, seine Promotion über die Entwicklung eines Modells zur Projektion der Verbreitung von Elektrofahrzeugen für Privatkunden und deren Auswirkung auf elektrische Netze auszuarbeiten. Diese Arbeit markiert die erste Cotutelle-Promotion zwischen UFSM und OVGU, betreut von Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wolter und Prof. Dr.-Ing. Daniel Pinheiro Bernardon. Als Mitarbeiter des LENA-Lehrstuhls unterstützt Herr Ortiz Forschungsaktivitäten und Lehrveranstaltungen sowie die Betreuung von studentischen Arbeiten.

Vom 04. bis zum 14. September besuchte Prof. Dr.-Ing. Daniel Pinheiro Bernardon, Professor für erneuerbare Energien und Energiesysteme sowie Prorektor für Innovation und Unternehmertum

²³von M. Sc. Mauro dos Santos Ortiz

3 Forschung

an der UFSM, unseren Lehrstuhl. Ziel seiner Reise war die Förderung und Weiterentwicklung der Wissenschaftsbeziehungen und des Austausches zwischen den beiden Universitäten sowie die Aktivitäten des Doktoranden Mauro dos Santos Ortiz zu begleiten.

Während seines Aufenthaltes erhielt Prof. Bernardon einen umfassenden Einblick in die Infrastruktur der OVGU, einschließlich der Labore, diverser Ausrüstungen und Prototyping-Umgebungen. Am 8. September nahm er an dem Jour fixe des Lehrstuhls teil und hielt einen Vortrag (siehe Abbildung 3.39a). Dabei präsentierte er laufende Forschungen und Projekte der UFSM. Des Weiteren wurden zukünftige Projektideen diskutiert, die im Rahmen der Forschungsschwerpunkte sowohl der UFSM als auch der OVGU liegen.

Neben den technischen Besuchen bei der OVGU tauschte Prof. Bernardon sich intensiv mit dem deutschen Team aus. Gemeinsam erörterten sie Möglichkeiten der Zusammenarbeit in Forschung, Publikationen, der Realisierung von Cotutelle/Doppelabschlüssen sowie dem Austausch von Studierenden und Dozenten.



(a) Herr Prof. Dr.-Ing. Daniel Pinheiro Bernardon



(b) Herr Mauro dos Santos Ortiz

Abbildung 3.39: Gastwissenschaftler am LENA aus einer Kooperation mit Brasilien

Im Dezember 2023 kommen Frau Renata Lautert und Herr Gabriel Maier Cocco (siehe Abbildung 3.40) als Sandwich-Promovierenden bzw. Gastwissenschaftler*in für etwa ein halbes Jahr nach Magdeburg. In ihrer Doktorarbeit untersucht Frau Renata Lautert das Energiemanagement in Mikronetzen mit flexiblen Verträgen, wobei sie maschinelles Lernen einsetzt, um Energiebedarf, Energieerzeugung und Tarife vorherzusagen. Zur Dimensionierung der Mikronetze wird das Energiemanagement mit Hilfe genetischer Algorithmen optimiert. An der OVGU möchte sie die bestehende Recherche vertiefen, indem sie sich auf das Optimierungsverfahren und flexible Verträge konzentriert, sowie einen Beitrag zu den laufenden Forschungen und Aktivitäten an dem LENA-Lehrstuhl zu leisten.

Herr Gabriel Maier Cocco hat Erfahrung in der Forschung und Entwicklung von Stromrichtern und deren Steuerung für erneuerbare Energien mit dem Ziel, die Stromqualität und die Systemstabilität zu verbessern. Als Gastwissenschaftler an der OVGU wird er gemeinsam an Echtzeit-Hardware-in-the-Loop-Integration forschen, mit anderen Doktoranden zusammenarbeiten und sich an akademischen Laboraktivitäten beteiligen. Die Zusammenarbeit mit den Kollegen des LENA-Lehrstuhls wird sich auf die Echtzeit-Simulationssysteme für Stromversorgungssysteme und statische Umrichter konzentrieren, um Methoden und Topologien für reale Systeme zu validieren. Dies wird auch zur Veröffentlichung gemeinsamer wissenschaftlicher Arbeiten beitragen.



(a) Frau Renata Lautert



(b) Herr Gabriel Maier Cocco

Abbildung 3.40: Gastwissenschaftler*innen am LENA aus einer Kooperation mit Brasilien

Kooperation mit der Universität Mekelle²⁴

Die zunehmende Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen, vor allem aus Sonnenlicht, bei gleichzeitigem Rückgang der konventionellen Erzeugungsanlagen, stellt eine Herausforderung für die dynamische Sicherheit des Netzbetriebs dar. Die notwendigen Voraussetzungen, die Systemflexibilität und die lokalen Anforderungen für einen tiefgreifenden Übergang zu erneuerbaren Energiequellen unterscheiden sich in Industrieländern wie Deutschland von Entwicklungsländern wie den afrikanischen Ländern südlich der Sahara. Ein gemeinsames Forschungsprojekt zwischen der OVGU und der Universität Mekelle in Äthiopien wurde 2019 ins Leben gerufen, um die besten koexistierenden Integrationspfade von PV-Systemen in die nationalen Netzsysteme zu untersuchen, damit die Nutzung der Solarenergie optimiert wird.

Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) und die Mekelle University (MU) verfügen beide über Fachwissen in ihrem jeweiligen Energiesektor. Die OVGU ist im Rahmen von LENA federführend bei den Bemühungen, intermittierende Energiequellen in die deutschen Stromnetze zu integrieren und die Systemstabilität zu verbessern. Die MU betreibt über das Ethiopian Institute of Technology-Mekelle (EiT-M) Energieforschung, um eine nachhaltige Energiewende in Äthiopien zu fördern. Die OVGU und die MU haben eine gemeinsame Forschungsagenda, die sich auf erneuerbare Energien und insbesondere auf Solarenergie konzentriert. Die Zusammenarbeit zielt darauf ab, die Herausforderungen bei der Entwicklung der Solarenergie in Äthiopien anzugehen, um ihre Einführung zu erleichtern und den Übergang zu saubereren Energiequellen zu fördern.

Die gemeinsamen Forschungsinteressen der beiden Einrichtungen führten zur Gründung einer Forschungspartnerschaft. Sie erhielten einen Zuschuss von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), um die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Solarenergie in der afrikanischen Sub-Sahara-Region zu unterstützen. Mit der Anschubfinanzierung wurden fünf Aktivitäten finanziert: 1) Identifizierung potenzieller Kooperationsbereiche im Solarenergiesektor, 2) Durchsicht politischer Dokumente, Veröffentlichungen und Vorschriften, um die Energielandschaft der Partner besser zu verstehen, 3) Identifizierung von Forschungslücken, um künftige gemeinsame Forschungsvorschläge zur Solarenergie zu verbessern, 4) Organisation von Workshops in Deutschland und Äthiopien, um die Forschungslücken zu erfassen und zu diskutieren und einen Vorschlag für ein gemeinsames Forschungsprojekt im Bereich der Solarenergie zu entwickeln. Als

²⁴von Dr.-Ing. Tahaguas Woldu

Ergebnis der Anschubfinanzierung durch die DFG wurde in aufeinanderfolgenden Workshops ein Forschungsprojektvorschlag entwickelt, der bei der DFG zur Projektfinanzierung eingereicht wird.

Ziel des Projekts ist es, zu untersuchen, wie Photovoltaik (PV)-Systeme effizient in große Verbundnetze, schwache Netze und inselartige Mikronetze integriert werden können, die die aktuelle Situation in Äthiopien widerspiegeln. Auf der Grundlage der Erfahrungen mit der Solarintegration in Deutschland soll das Projekt die günstigsten technischen und wirtschaftlichen Optionen für die Nutzung der Solarenergie in Äthiopien ermitteln. Das Projekt wird sein Ziel durch fünf Hauptarbeitspakete erreichen, die da sind: 1) Verringerung der Unsicherheit bei der Prognose von Last und PV-Energieerzeugung, 2) Entwicklung von Betriebskonzepten für Netztopologien in Äthiopien, 3) Analyse der Auswirkungen von PV-Großanlagen auf die Systemsicherheit, 4) dynamische Bewertung des Netzbetriebs mit Flexibilität für die Zuverlässigkeit von PV-getriebenen Stromsystemen und 5) Analyse der Auswirkungen von Energiepolitik und Marktregulierung. Die Ergebnisse dieses Projekts werden dazu beitragen, die Einführung von Solarenergiesystemen in Äthiopien zu fördern. Das Projektziel wird durch die Einbeziehung von promovierten Forschern, einer von der OVGU und einer von der MU, erreicht. Die vorgeschlagenen Projektkosten sollen von der DFG finanziert werden.

3.5.3 Technische Gremien und Verbände

VDE²⁵

Dank der Kooperation mit dem VDE Bezirksverband Magdeburg fand 2023 unter anderem die Exkursion nach Wolmirstedt statt, wo das Umspannwerk besichtigt wurde. Darüber hinaus standen den Mitgliedern die Möglichkeit der Teilnahme an VDE Veranstaltungen offen.

IEEE²⁶

In diesem Jahr wurde das IEEE Student Branch Chapter auf der Grundlage des IESY gegründet. Es umfasst teilweise Mitglieder der IEEE Student Branch OVGU. Nach der Gründung fanden Wahlen statt, aus denen die folgenden Positionen hervorgingen:

Vorsitzender:	Artem Kashtanov
Stellvertretender Vorsitzender:	Marc Gebhardt
Sekretär:	Kevin Ladentin
Schatzmeister:	Martin Fritsch
Weitere aktive Teilnehmer:	Julian Reek und Hannes Schreiber

Am 7. Juni 2023 wurde unter der Schirmherrschaft der Gemeinschaft ein weiterer Vortrag über Batteriespeichersystem-Vortrag von TESVOLT organisiert. Ein Experte der TESVOLT AG hielt einen Vortrag über Batteriespeichersysteme, in dem er über die Prinzipien des Systems und den aktuellen Stand der Branche sprach.

²⁵ von M. Sc. Marc Gebhardt

²⁶ von M. Sc. Artem Kashtanov

3.5.4 Kolloquien

Dresdener Kreis²⁷

Die Mitarbeiter*innen des LENA nahmen vom 13. bis 15. Juni 2023 am diesjährigen „Dresdener Kreis“ teil, der in diesem Jahr auf der Insel Helgoland stattfand. Neben der Gruppe aus Magdeburg nahmen wie in jedem Jahr auch die Kolleg*innen aus Dresden, Duisburg und Hannover teil. Nach der Ankunft in Hamburg fand am Dienstagabend ein gemeinsames Abendessen der befreundeten Universitäten statt, bevor es am Mittwoch mit der Fähre nach Helgoland ging. Dort wurden in zwei Blöcken insgesamt acht Fachvorträge gehalten. Ein Foto der Teilnehmenden der OVGU ist in Abbildung 3.41 gezeigt.



Abbildung 3.41: Konferenzgruppe der OVGU auf Helgoland

Der LENA Lehrstuhl wurde im ersten Block von Mauro dos Santos Ortiz vertreten, der über das Thema seiner Promotion „Methodology for Projection of the Diffusion of Electric Vehicles in Residential Consumers“ referierte. Nach einer Kaffeepause stellte Tahaguas Woldu in seinen Fachvortrag mit dem Thema „Dynamic Security Enhancement in Power Networks with High Share of Wind and Solar-PV Power Generations“ sein Forschungsgebiet vor. Alle acht Vorträge wurden mit den insgesamt ca. 50 Teilnehmenden im Anschluss diskutiert, um die Fragen der Zuhörer*innen zu beantworten. Die neu gewonnenen Anregungen konnten am Abend bei einem erneuten gemeinsamen Abendessen vertieft diskutiert werden.

Am Donnerstag startete der Tag auf Helgoland mit der Besichtigung des Standortes von RWE Renewables Trident Offshore GmbH auf Helgoland. Die Mitarbeiter*innen präsentierten unter anderem die Leitwarte, mit der die verschiedenen Windparks überwacht werden. Außerdem durften die Teilnehmer*innen des „Dresdener Kreises“ auch den Helikopter besichtigen, der von RWE Offshore genutzt wird, um die Techniker*innen bei höherem Wellengang an ihren Arbeitsort zu bringen.

²⁷von M. Sc. Maja Maletz

Das Highlight des Tages war jedoch eine Schiffsfahrt in den neuen Offshore-Windpark Kaskasi, den RWE Offshore seit 2022 vor der Küste Helgolands betreibt. Das Schiff ist bis auf wenige Meter an die Windräder herangefahren, was nur mit einer Ausnahmegenehmigung von RWE Offshore möglich war. Zusätzlich standen einige Mitarbeiter*innen von RWE während der Fahrt für die Fragen der Teilnehmenden bereit. Die Schiffsfahrt und Besichtigung des Windanlagenparks sind in der Abbildung 3.42 aufgezeigt.



(a) Blick auf die Plattform



(b) Besichtigung des Windanlagenparks

Abbildung 3.42: Schiffsfahrt zum RWE Offshore-Windpark Kaskasi

Mit der Rückfahrt der Fähre nach Hamburg endete der Dresdener Kreis 2023. Der Lehrstuhl LENA dankt den diesjährigen Organisator*innen der Universität Hannover sowie den Mitarbeiter*innen von RWE für die abwechslungsreiche und interessante Durchführung des diesjährigen „Dresdener Kreises“. Im nächsten Jahr wird das Treffen der verschiedenen Lehrstühle durch die Universität in Duisburg/Essen organisiert.

LENA beim IEEE PES General Meeting 2023²⁸

In diesem Jahr wurde das erste persönliche Training für IEEE R8 PES Student Branch Chapter Leaders organisiert. Der Vertreter unserer Universität war der Vorsitzende des IEEE PES SB Chapter Artem Kashtanov. An dieser Veranstaltung nahmen Chapterleiter aus der ganzen Welt teil, darunter Prof. Saifur Rahman, der Präsident des IEEE, Dr. Jessica Biel, die Präsidentin der IEEE PES, Dr. Julio Romero Agüero und Wayne Bishop Jr., die großzügig ihr Wissen und ihre Erkenntnisse weitergaben.

Im Laufe des Tages stellten die Teilnehmenden die Ergebnisse der Arbeit des vergangenen Jahres vor, lieferten Statistiken über verschiedene Studierendenorganisationen und diskutierten Pläne für die Zukunft. Im Anschluss an die Präsentation fand eine Podiumsdiskussion statt, in der IEEE-Führungskräfte ihr Wissen und ihre Ideen über die Entwicklung lokaler Studierendenstrukturen mitteilten. Am Ende des Arbeitstages wurden Schulungen zur Entwicklung von Soft Skills für die Leiter von Zweigstellen und Sektionen organisiert. Herr Artem Kashtanov ist zusammen mit weiteren Teilnehmenden der Konferenz in Abbildung 3.43 zu sehen.

²⁸von M. Sc. Martin Fritsch



Abbildung 3.43: Teilnehmende der IEEE-Veranstaltung in Istanbul

LENA bei der WESC 2023²⁹

Nach Kopenhagen, Cork und Hannover fand die vierte Auflage der Windenergie-Wissenschaftskonferenz (WESC) vom 23. bis 25. Mai 2023 in Glasgow (Vereinigtes Königreich) statt. Es war eine fantastische Woche, in der internationale Experten aus dem akademischen Bereich und der Industrie ihre Ideen vorstellten und die neuesten Ergebnisse ihrer Forschungstätigkeiten vorstellten. Die Konferenz findet alle zwei Jahre statt, seit 2017 in ungeraden Jahren. Ziel der Konferenz ist es, führende Wissenschaftler und Forscher auf dem Gebiet der Windenergie zu versammeln, um ihre neuesten Erkenntnisse in mündlichen Präsentationen vorzustellen.

Der Fachbereich LENA war durch Dr.-Ing. Tahaguas Woldu vertreten, der seine Forschungsergebnisse aus dem Promotionsstudium vorstellen konnte. Der Titel seines Vortrages lautete „Regelungsstrategien zur Verbesserung der transienten Stabilität des Netzes bei höherem Anteil an DFIG-basierter Windenergie“. In der Arbeit werden Windenergieanlagen auf der Basis von Doppelinduktionsgeneratoren (DFIG) mit der Fähigkeit zur Frequenzregelung betrachtet, um die Netzstabilität zu verbessern. Das vorgeschlagene Frequenzregelungsmodul regelt die Netzfrequenzänderungen auf der Systemebene.

Darüber hinaus wurde eine gemeinsame Anwendung von STATCOM- und Rotor-Overspeeding-Strategien implementiert, um die LVRT-Fähigkeiten (Low Voltage Ride Through) und das Frequenzverhalten zu verbessern. Der Algorithmus wurde am IEEE-39-Bus-Netzsystem validiert. Das Thema stieß bei den internationalen Kollegen auf großes Interesse und wurde während der zugehörigen Posterpräsentation ausführlich diskutiert. Der Austausch mit den Kollegen war sehr nützlich.

²⁹von Dr.-Ing. Tahaguas Woldu

3.5.5 Konferenzen

10th ECPE SiC & GaN User Forum – Potential of Wide Bandgap Semiconductors in Power Electronic Applications: Report of Conclusions³⁰

Overview The event has been organised by the European Center for Power Electronics e. V. (ECPE, www.ecpe.org) in Erding from March 28th to March 29th, 2023: The biannual ECPE Wide Bandgap User Forum is dedicated to report state of the art and prospects of SiC and GaN devices in power electronic systems and to foster an exchange between system, circuit and device designers. This year the tenth User Forum could be marked. It has been conducted as a hybrid event with the vast majority of the international participants and speakers being on-site at Erding/Munich.

The programme comprised an overview as well as detailed presentations about GaN devices and related systems on the first day and SiC devices and systems on the second. Those have been complemented by common topics – such as reliability and passive components – and an outlook. Some main findings are summarised in the following:

State of the Art and Trends The GaN power devices available today are usually horizontal transistors with voltage ratings up to 650 V. Different versions need to be distinguished, in particular the high electron mobility transistors (HEMTs) which can be normally-on and – with p-GaN gate – normally-off; gate injection transistors (GITs) provide normally-off behaviour as well. Their operating principles and thus their properties are partially different which is important for a deeper understanding. Normally-on transistors can be combined with an enhancement-mode silicon MOSFET to constitute a normally-off component – either as a cascode circuit where the switching state is solely controlled via the MOSFET gate, or in a way that the MOSFET is only turned on once to afterwards directly switch the HEMTs via their gates. The unipolar devices are not avalanche-rated but usually provide a high safety margin between rated maximum voltage and breakdown voltage.

Most devices would conduct a very high short-circuit current leading to fast failure; to prevent from this, drivers integrated in the component or even in the chip itself are capable to turn-off quickly within some 100 ns after the short-circuit occurs. Such drivers can also safely hamper cross-conduction through integrated phaselegs and thus overcome issues frequently faced in circuits built with discrete components. Packages are mostly surface-mountable with the option to parallel multiple chips in bigger, integrated assemblies. This allows to use GaN transistors in a vast range of applications: It is already known that they are suitable e. g. for single-phase off-grid power supplies with high switching frequency; in spite of their low switching losses it may be advantageous to operate them in resonant mode. On the other hand, they also become increasingly attractive for high current applications such as traction drives of electric vehicles with a battery voltage up to some 400 V.

Although undesirable dynamic R_{DSon} and current collapse are still subject to current work on GaN transistors, those profit from the use of the same material for RF components, leading to a comparably high maturity of the relatively new devices. The aforementioned integrated solutions may also help to increase reliability due to their low part count. Research is among others dedicated to vertical devices where higher voltage ratings can be achieved with increased thickness instead of increased area; this would basically be cost efficient but requires to identify and process suitable substrates which is a topic of current research and development. This also applies to multi-channel devices, while a release of a new bidirectional HEMT has already been

³⁰by Prof. Andreas Lindemann, co-chair together with Dr. Peter Friedrichs (Infineon Technologies), Prof. Leo Lorenz and Thomas Harder (ECPE)

announced: It basically consists of two anti-serial normally-off or -on HEMTs with two source and gate terminals, using the same area between the gates as drain-to-gate path for both polarities. This saves chip area, minimising the length of the current path and thus the conduction losses. Such devices are suitable as bipolar, bidirectional switches for known circuits such as T-type three-level converters or Vienna rectifiers; in addition they allow to explore new circuits and also series connections to achieve higher blocking voltages.

SiC components have been introduced in power electronics about two decades ago. Since, they matured and experienced a tremendous growth. Diodes had been the first commercially available SiC devices and are well established. Several types of transistors followed. The user forum focused on the most advanced devices, i. e., normally-off SiC MOSFETs with blocking voltages between 650 V and 3300 V and corresponding JFETs. Those are today manufactured predominantly on 6 inch substrates with 8 inch already being introduced and ramping up; additionally new substrate technologies are investigated. Chip sizes are moderate, usually up to about 25 mm² to achieve maximum yield. Parallel connection allows higher current capability; it is achieved either by paralleling multiple discrete devices or multiple chips in a module.

Such solutions are to a large extent applied in converters for electric vehicles: Automotive charging and traction converters belong to the volume applications, especially because the higher achievable efficiency is beneficial for the driving range of the car, this way offering benefits on system level. Correspondingly, also railway traction and auxiliary power supplies profit from SiC devices which allow to build converters with higher power density, simplified cooling and significantly increased efficiency also on system level. Those applications obviously are demanding regarding robustness and reliability. Recent work on this topic refers to stability issues, in particular with reference to trapping effects and threshold voltage drift, edge termination, where considerable electric fields have to be handled, and short-circuit capability which is achievable for about 1 µs. Packaging technology is advanced in parallel, in particular to achieve modules with low parasitic inductance, highly reliably interconnects and optimised cooling. Of course, standardisation with respect to the qualification of SiC devices is advancing as well.

While SiC and GaN devices are commercially available and continuously improved, in parallel new wide bandgap materials are explored. As examples, Ga₂O₃ has been presented as a base material for Schottky diodes and prospectively MOSFETs, and even more basic research on AlN substrates. Last but not least, besides the semiconductor devices and their packaging the passive components strongly influence the performance of a converter. Consequently a presentation has been dedicated to different types of advanced capacitors with particularly low equivalent series inductance.

Conclusion and Outlook The findings as briefly summarised above illustrate the fast development of wide bandgap power semiconductors and their successful use in industry, driven by their advantages in key applications and the exploration of new areas. Engineers in research and development of devices, components, circuits and power electronic systems have achieved impressive results: They e. g. allow to increase energy efficiency, to optimise the usage of renewable sources for electric energy supply and they are a key for the introduction of e-mobility.

Research and development in power electronics are ongoing. The European Center for Power Electronics (ECPE) is a stakeholder in this area, bringing together industrial partners and research institutions. After the broad interest of far more than 250 international participants in this year, ECPE will announce the next SiC & GaN User Forum in 2025. There will be the occasion to report the progress achieved since today and pave the way to proceed even further.

LENA beim IEEE PES General Meeting 2023³¹

Das IEEE PES General Meeting gehört zu den Flaggschiffkonferenzen der elektrischen Energietechnik und bringt jedes Jahr tausende Elektroingenieure und Wissenschaftler aus aller Welt zusammen. Die Konferenz ist somit ein internationales Forum zur Förderung, zum Austausch und zur Diskussion verschiedener Themen und Entwicklungen im Bereich der elektrischen Energietechnik. Das diesjährige General Meeting fand vom 16. bis 20. Juli in Orlando, Florida in den USA statt.

Mit dabei war unser Lehrstuhl LENA mit einer Delegation bestehend aus Prof. Martin Wolter, Herrn Eric Glende, Herrn Tahaguas Woldu sowie Herrn Martin Fritsch. Herr Tahaguas Woldu präsentierte ein Konferenzpaper mit dem Titel „Fault Ride through Capability Enhancement of Grid-connected DFIG-based Wind Power Generation During Voltage Dips“, welches sich mit Spannungseinbrüchen bei Fehlern in Windparks beschäftigt. Herr Martin Fritsch präsentierte ein Konferenzpaper mit dem Titel „Concept of a Split-Core HFCT with Air Gap Control for Partial Discharge Measurements“, welches ein neuartiges Konzept zur Sättigungsvermeidung bei induktiven Teilentladungssensoren präsentiert. Auf diese Weise kann eine kontinuierliche Teilentladungsmessung an Energiekabeln sichergestellt werden (Online-Monitoring). Beide Paper wurden im Rahmen einer Posterpräsentation vorgestellt und mit den internationalen Fachkollegen ausführlich diskutiert. Herr Martin Fritsch ist mit seiner Thematik in der Abbildung 3.44 zu sehen.

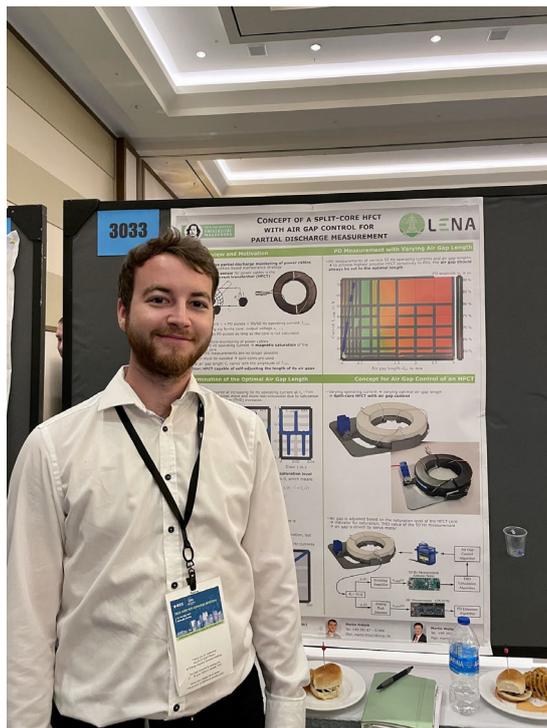


Abbildung 3.44: Martin Fritsch mit seinem Stand auf der Konferenz

Herr Eric Glende hat einen Fachvortrag mit dem Titel „Fast identification of dynamic voltage stability problems“ in der von Prof. Wolter moderierten Panel-Session mit dem Titel „Speeding up dynamic security assessment“ gehalten. Die Session bot viel Gelegenheit zum Austausch zum Thema dynamische Netzberechnung und wurde von allen Beteiligten positiv bewertet. Die Panel-Session ist in Abbildung 3.45 aufgezeigt.

³¹von M. Sc. Martin Fritsch



Abbildung 3.45: Martin Wolter (rechts) und Eric Glende (links) während der Panel-Session

LENA bei der ISGT NA 2023³²

Die IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, North America (ISGT NA 2023) ist eine Leitkonferenz bezüglich der neuesten Themen, Trends und Innovationen für das dekarbonisierte, widerstandsfähige Energienetz der Zukunft. Das jährlich stattfindende Meeting bietet Elektrotechnikern und Wissenschaftlern der elektrischen Energietechnik eine Plattform, um ihre Arbeit zu präsentieren und Erfahrungen und Ideen in einem internationalen Umfeld auszutauschen. Bereits zum 14. Mal fand die Tagung in diesem Jahr vom 16. bis 19. Januar in Washington D.C. in den USA statt.

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 beim Online-Monitoring. Das Paper mit dem Titel „Determination of the Optimal Air Gap of an HFCT“ beschäftigt sich mit der optimalen Vermeidung dieser Kernsättigung. Das Thema stieß bei den internationalen Fachkollegen auf Interesse und wurde während der zugehörigen Posterpräsentation ausführlich diskutiert. Der Austausch mit den Kollegen war sehr förderlich. Ein Foto von Martin Fritsch vor dem Poster seiner Thematik ist in Abbildung 3.46 gezeigt.

Power and Energy Student Summit³³

Die PESS Konferenz (Power and Energy Student Summit) fand in diesem Jahr vom 15. bis 17. November 2023 in Bielefeld statt. Nachdem am ersten Tag die Begrüßung der Teilnehmenden und die Vorstellung einiger spezieller Paper durchgeführt wurde, startete der zweite Tag mit Vorträgen der Teilnehmenden. Der LENA-Lehrstuhl wurde durch Maja Maletz vertreten, die eine Präsentation mit dem Thema „A time-step based steam accumulator simulation to define the optimale storage capacity“ hielt. Der Abschluss des zweiten Tages war eine Postersession in der ebenfalls zwei Teilnehmende die OVGU vertraten.

³²von M. Sc. Martin Fritsch

³³von M. Sc. Maja Maletz

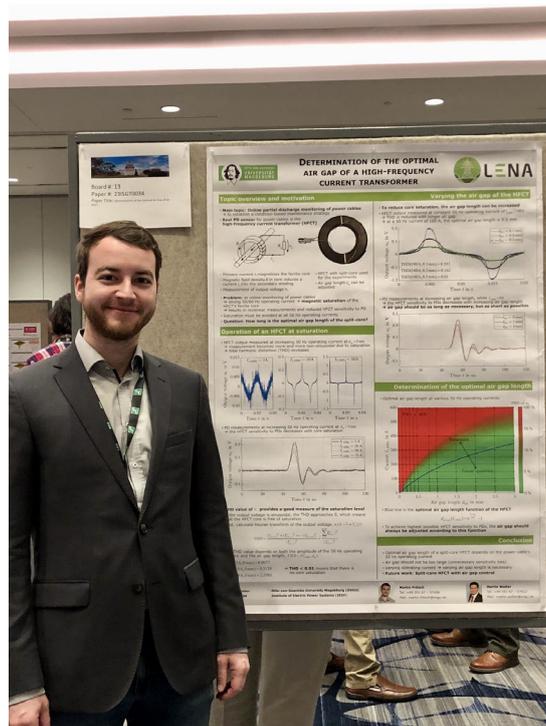


Abbildung 3.46: Martin Fritsch auf der ISGT NA.

Der Masterstudent Christoph Andres präsentierte ein Poster mit dem Thema „Inductive Energy Harvesting System for Power Cables with Forced Linear Operation“. Frau Ndeye Khady Diop Dieng stellte ein Plakat mit dem Titel „Impact assessment of grid strength and inverter-based renewable energy penetration on voltage stability“ vor. Den Abend verbrachten die Teilnehmenden der Konferenz gemeinsam im sogenannten „SparrenExpress“. Das ist eine umgebaute Straßenbahn, die durch Bielefeld fährt und einen gastronomischen Service anbietet. Am nächsten und letzten Tag der Konferenz fanden weitere Vorträge der Teilnehmenden statt. Die OVGU dankt den Organisatoren der Hochschule Bielefeld für eine erfolgreiche Organisation der PESS Konferenz 2023.

LENA bei der NEIS – Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems 2023³⁴

Die NEIS-Konferenz wird jährlich vom Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme von der Helmut-Schmidt-Universität veranstaltet. Sie ist ein wichtiger Treffpunkt für Wissenschaftler und Industrieexperten, um neueste Erkenntnisse auszutauschen und zukünftige Trends im Energiesektor zu diskutieren, insbesondere erneuerbare Energien, Energiespeicherung, Stromnetze und deren Schutz. In diesem Jahr fand die NEIS-Konferenz vom 4. bis 5. September in Hamburg statt. Der Beitrag des brasilianischen Gastwissenschaftlers und Mitarbeiters Mauro dos Santos Ortiz wurde erfolgreich angenommen.

Die hybride Organisation von NEIS 2023 ermöglichte es Herrn Mauro dos Santos Ortiz, virtuell an der Konferenz teilzunehmen. Er stellte in seinem Vortrag eine auf der Monte-Carlo-Methode basierende Methodik zur Analyse der Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromverteilungsnetze vor. Die Ergebnisse zeigen einen direkten Zusammenhang zwischen der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen und den Auswirkungen auf das Stromnetz sowie die Bedeutung der Entwicklung neuer Techniken zur Unterstützung der Analyse der Auswirkungen auf

³⁴von M. Sc. Mauro Dos Santos Ortiz

das elektrische Netz. Darüber hinaus unterstreicht die Arbeit die Bedeutung von Studien, die sich auf die Auswirkungen der Leistung von Elektrofahrzeugen auf das Netz konzentrieren, um sicherzustellen, dass die Netzbetriebsplanung sicher und effizient durchgeführt wird.

Neben den eigenen Präsentationen gab es eine Vielzahl an weiteren Vorträgen zu Themen rund um Betrieb und Steuerung des elektrischen Netzes sowie Integration der Elektromobilität in das Stromnetz und Energiespeicheranwendungen. Dabei wurden sowohl technische Aspekte als auch ökonomische und ökologische Perspektiven beleuchtet. Die Vorträge waren äußerst informativ und regten zu angeregten Diskussionen an.

International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe³⁵

Das diesjährige International Symposium on Electromagnetic Compatibility bzw. die EMC Europe fand vom 04. bis 08. September in Krakow in Polen statt. Ein Highlight war der gemeinsam mit anderen internationalen Kolleg*innen organisierte Workshop mit dem Titel „had me at ‚Reverb...‘!“ zu Messungen der elektromagnetischen Verträglichkeit in Modenverwirbelungskammern. Der Workshop war wieder sehr gut besucht und sehr erfolgreich. Die Vorträge waren kurz und prägnant, und die vielen Live-Demonstrationen in einer kleinen, mobilen Modenverwirbelungskammer aus leitfähigem Gewebe haben meist gut funktioniert. Der Student B.Sc. Konstantin Bredendfeld und der Kollege Dr.-Ing. Mathias Magdowski beteiligten sich mit einem Workshopbeitrag zum Thema „Fast stirring, fast probing and direct field-strength control“ inklusive einer kurzen Demonstration zur Messung mit lasergespeisten E-Feldsonden (siehe Abbildung 3.47).

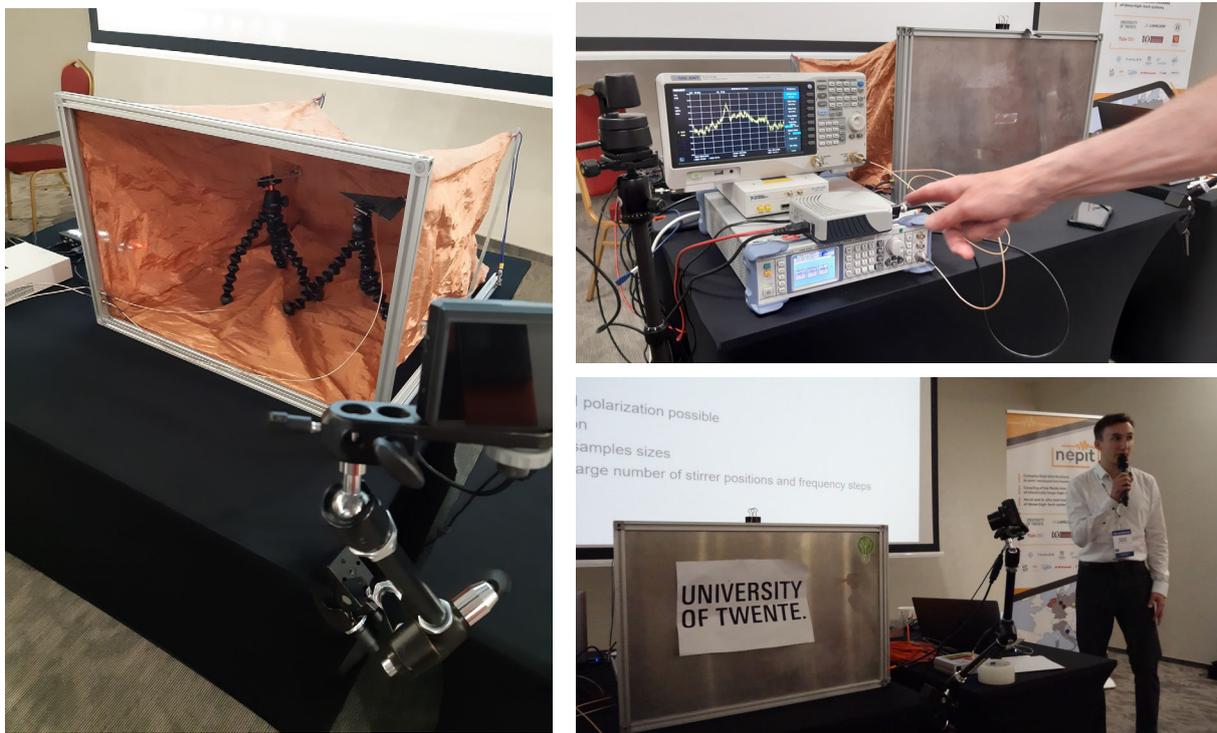


Abbildung 3.47: Impressionen vom Workshop „had me at ‚Reverb...‘!“ auf dem International Symposium on Electromagnetic Compatibility bzw. der EMC Europe in Krakow in Polen

³⁵von Dr.-Ing. Mathias Magdowski

