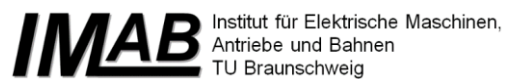


Jahresbericht 2022-2023

Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen

Elektrische Antriebssysteme

Leistungselektronik



Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen

Hans-Sommer-Straße 66

38106 Braunschweig

Postfach 3329

38023 Braunschweig

www.imab.de

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Vorworte. | 2 |
| 2 | Das IMAB Team. | 6 |
| 3 | Forschung. | 8 |
| | 3.1 Forschungsaktivitäten am IMAB | 11 |
| | EPROREF – Elektrische Propulsoren für Regionalflugzeuge. | 11 |
| | ETHAN1 - Sichere und zuverlässige Elektrische und Thermische Netzwerke für hybrid-elektrische Antriebssystem | 12 |
| | CHYLA-Credible Hybrid Electric Aircraft. | 13 |
| | SaReMO - Safety, Resilience and Maintenance, Repair & Overhaul of Future Aviation Systems | 14 |
| | E ² AGLE - Electric Aircraft Ground Lab Environment. | 15 |
| | SE ² A - Sustainable and Energy-Efficient Aviatio | 16 |
| | EFILS11 – Funktionsmusterentwicklung Elektrofahrzeuge Induktivladesystem 11 kW. | 19 |
| | LISA4CL - Induktive Ladetechnik für den lokalen Lieferverkehr. | 20 |
| | NetFlexum - Next Generation verbrauchsnahe PV-Kombisysteme. | 21 |
| | CODAPE – Kollaborative Entwicklungsumgebung für die Leistungselektronik | 22 |
| | Optimale Stromregelung für fremderregte Synchronmaschinen.. | 23 |
| | Batterielader. | 24 |
| | Lebensdauermodelle für Leistungshalbleiter und Lebensdauerabschätzung von Invertern. | 25 |
| | 3.2 Neue Prüfstandstechnik am IMAB | 26 |
| | 3.3 Externe Forschungsthemen | 29 |
| | 3.4 Abgeschlossene Promotionen am IMAB | 35 |
| | 3.5 IMAB-Externe Aktivitäten | 38 |
| 4 | Lehre | 45 |
| | 4.1 Vorlesungen und Praktika. | 45 |
| | 4.2 Exkursionen in 2022-2023 | 52 |
| | 4.3 Studentische Arbeiten am Institut | 54 |
| 5 | Ereignisse 2022 - 2023. | 60 |
| | 5.1 Schlaglichter auf fachliche Aktivitäten | 60 |
| | 5.2 Kalender | 64 |
| 6 | Veröffentlichungen in 2022 - 2023 | 70 |

1 Vorworte

Liebe Freunde des IMAB,

die Jahre 2022 und 2023 waren geprägt von vielen interessanten Aktivitäten, die wir in Forschung und Lehre am Institut durchgeführt haben. In der Forschung nimmt das Themenfeld ‚elektrische Flugantriebe‘ und die daran angebotenen Arbeiten zu Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen inzwischen breiten Raum ein. Dort können wir aufbauend auf den Erfahrungen zu leistungsdichten und leichten Automobil-Antriebssträngen unser Know-How in die Konzeptionierung von leichten Flugantrieben übertragen. Hier sind wir inzwischen mit zahlreichen Partnern aus Wissenschaft und Industrie in Forschungsprojekten tätig.



Die Themenfelder werden zunehmend interdisziplinär, und wir kooperieren daher verstärkt mit Nachbardisziplinen, um die sehr komplexen Systeme in der Gesamt-Systemsicht zu bearbeiten und Verbesserungen zu generieren. In die Lehre konnten wir die Forschungsthemen integrieren, sodass auch dem Ingenieurnachwuchs am IMAB interessantes und aktuelles Wissen rund um Leistungselektronik und elektrische Antriebe vermittelt wird.

Die AG Elektrische Antriebssysteme hat in den zwei Jahren Forschungsarbeiten zum elektromagnetischen Entwurf, zu Kühlkonzepten und zu supraleitenden Maschinen durchgeführt. Begleitet wurden diese Arbeiten durch unser langjähriges Thema der induktiven Energieübertragung. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben die Ergebnisse auf internationalen Tagungen und durch hochwertige Veröffentlichungen publiziert und so zu einer hervorragenden Sichtbarkeit unserer Forschung beigetragen. Getragen werden die Aktivitäten am IMAB durch eine hervorragende Zusammenarbeit der WissenschaftlerInnen mit unseren Verwaltung- und WerkstattmitarbeiterInnen.

Großen Dank allen!

Ich danke unseren Forschungspartnern aus Wissenschaft und Industrie für die Unterstützung und hervorragende Zusammenarbeit in den letzten Jahren und wünsche Ihnen allen viel Freude beim Lesen dieses Berichtes.

Ihr

Markus Henke

Liebe Freunde des IMAB,

das Team der AG Leistungselektronik am IMAB arbeitet an hochinteressanten Themen wie beispielsweise an neuen Energiewandler für künftige Stromnetze oder für mobile Anwendungen wie Straßenfahrzeuge oder Flugzeuge. Dafür sind viele Details zu lösen, so dass auch die Untersuchungen an einzelnen Bauelementen und Unterbaugruppen für uns an Bedeutung gewonnen haben. Das Team, seine Kompetenz aber auch die Laborausstattung sind entsprechend gewachsen. Gemeinsame Aktionen wie Team-Workshops haben das Team organisatorisch gestärkt.



Wir haben einen hohen Anspruch an die Ausführung unserer Lehre. Unser Wissen wollen wir an die nachkommenden Generationen weitergeben und aktuelle Themen integrieren. In die Gestaltung von Vorlesungen, Übungen und Praktika sowie die Betreuung studentischer Arbeiten investieren wir viel Zeit. Die Motivation junger Menschen für technische Themen ist uns ein Grundanliegen.

Ich bedanke mich bei allen IMAB-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre engagierte Arbeit und freue mich über die so zahlreichen Fortschritte jedes einzelnen wissenschaftlichen Mitarbeitenden. Das IMAB hat ein wunderbares Team.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Partnern aus Wissenschaft und Industrie, die mit uns an den diversen Forschungsthemen aber auch in der Lehre zusammenarbeiten. Ich wünsche uns allen weiterhin viele gute Ideen und gutes Gelingen bei unseren Vorhaben. Ihnen wünsche ich nun viel Freude beim Lesen unseres Zwei-Jahres-Berichts,

Ihre

Regine Mallwitz

2 Das IMAB Team

| | | |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| Arbeitsgruppen: | Prof. Dr.-Ing. Markus Henke (Institutsleiter) | |
| | - Elektrische Antriebssysteme | |
| | Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz | |
| | - Leistungselektronik | |
| | Dr.-Ing. Niklas Langmaack | |
| | - Junior Research Group Wiring Technologies | |
| Professoren i.R. | Prof. a.D. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders | |
| | Prof. a.D. Dr.-Ing. Jürgen Meins | |
| Oberingenieur: | Dr.-Ing. Günter Tareilus | |
| Geschäftszimmer: | Dorothee Wille (Sekretariat, Ausbilderin) und Juliane Bothe (Sekretariat) | |
| Auszubildende: | Julia Fischer | |
| Wiss. Mitarbeitende: (2022-2023) | M.Sc. Johanna Anspach | / Mob. Bordnetze, JRG |
| | M.Sc. Arsham Asgari | / Maschinenberechnung |
| | M.Sc. Mohammadreza Bagheribavaryani | / Mob. Bordnetze, JRG |
| | M.Sc. Sridhar Balasubramanian | / Maschinenberechnung |
| | M.Sc. Minjia Chen | / Leistungselektronik |
| | M.Sc. Tim-Hendrik Dietrich | / Ladetechnologie, Leistungselekt. |
| | M.Sc. Dirk Ferch | / Leistungselektronik |
| | M.Sc. Jonas Franzki | / Maschinenberechnung |
| | M.Sc. Tobias Fricke | / Leistungselektronik, Prüfstände |
| | Dr.-Ing. Lucas Vincent Hanisch | / Isolationssysteme el. Maschinen |
| | M.Sc. Philipp Hauenschild | / Leistungselektronik, Prüftechnik |
| | Dipl.-Ing. Jan Hoffmann | / Maschinenberechnung |
| | Dipl.-Ing. Peter Hoffmann | / Prüfstände, Infrastruktur |
| | M.Sc. Matthias Klintz | / Leistungselektronik |
| | M.Sc. Nikolay Korshunov | / Leistungselektronik |
| | M.Sc. Florian Lippold | / Leistungselektronik, Prüftechnik |
| | M.Sc. Hendrik Marks | / Induktive Ladetechnologien |
| | M.Sc. Lukas Radomsky | / Leistungselektronik |
| | M. Eng. Robert Rohn | / Leistungselektronik |
| | M.Sc. Hendrik Schefer | / Leistungselektronik, Prüftechnik |
| | M.Sc. Henning Schillingmann | / Maschinenberechnung |
| | M.Sc. Abdullah Sharaf | / Regelung und Berechnung EM |
| | M.Sc. Cengiz Uzu | / Leistungselektronik |

Buchhaltung: Ulrike Nissen (Ausbilderin)
Auszubildende: Aaliyah Bartsch, Jörn-Torge Lauenstein

Technische Angestellte: Fabian Kirschke (Techniker, Ausbilder)
Herbert Rawe

Werkstatt: Tobias Gaida (Werkstattmeister, Ausbilder)
Jan-Niklas Buhr
Carlo Mensing
Technische Auszubildende: Jan-Michel Schulze, Tom Lippelt

MitarbeiterInnen, die bis zum 31.12.2023 ausgeschieden sind:

M.Sc. Hendrik Marks
M.Sc. Sridhar Balasubramanian
Dipl.-Ing. Peter Hoffmann
Dr. Lucas Vincent Hanisch
M.Sc. Henning Schilingmann
M.Eng. Robert Rohn
Herbert Rawe
Julia Fischer
Jörn-Torge Lauenstein



Das IMAB Team in 2023

3 Forschung

In den vergangenen Jahren wurde wieder interessante Forschungsfragen in vielen Verbundprojekten mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie bearbeitet. Dabei spielte das Exzellenzcluster SE²A, Projekte aus dem Luftfahrtforschungsprogramm LuFo und Aktivitäten rund um Fahrzeugantriebe im Rahmen des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik NFF der TU Braunschweig eine wesentliche Rolle.

Zur Elektromobilität betrachten wir am IMAB grundsätzliche Fragestellungen des Ladens und der Elektrifizierung von Fahrzeugen. Wir erforschen neue Ansätze zu den im Fahrzeug verbauten elektrischen Maschinen und leistungselektronischen Systemen, zum Schnellladen von Elektrofahrzeugen und zur Standardisierung induktiver Ladesysteme.

In den letzten Jahren hat sich am IMAB der Blick auf nachhaltige Flugantriebe geschärft. Für elektromagnetische, thermische und systemorientierte Untersuchungen der in der Luftfahrt arbeitenden elektrischen Maschinen werden Berechnungsverfahren und Tools eingesetzt, die im Rahmen vieler Forschungsprojekte entwickelt und optimiert werden. In die Antriebe fließen neueste Technologien zur Steigerung von Effizienz, Performance und Leistungsdichte. Hierbei spielt insbesondere die Einbindung supraleitender Elemente in elektrische Maschinen eine große Rolle.

Leistungselektronik ist eine Schlüsseltechnologie für die Transformation der Energieversorgung und der Mobilität zu mehr Klimafreundlichkeit bis hin zur Klimaneutralität. Der Bedarf an leistungselektronischer Systemtechnik ist immens. Viele Lösungen sind noch nicht existent oder es fehlt an der Reife für den großflächigen Einsatz. Generell lässt sich sagen, dass die Anforderungen an die neue Systemtechnik aber auch die Weiterentwicklungen bei den Bauelementen die Leistungselektronik vorantreiben. Zudem rückt das Thema Nachhaltigkeit der Leistungselektronik-Lösungen selbst mehr und mehr in den Fokus und entwickelt sich zu einem Forschungsgebiet. Das IMAB greift aus diesen generellen Trends offene Fragestellungen auf. In den aktuellen und geplanten Forschungsvorhaben werden Konzepte, Demonstratoren oder Methoden zur optimierten Auslegung oder Überwachung erarbeitet.

Einen Schwerpunkt in der IMAB-Leistungselektronikforschung stellen Stromrichter für die künftige Energieversorgung und die Versorgung neuer Verbraucher dar. Verbundprojekte wie Netflexum oder Codape lassen sich hier zuordnen. Leistungselektronik in neuen Bordnetzen für Straßenfahrzeuge und Flugzeuge mit hohem elektrischem Energiebedarf bilden einen weiteren Schwerpunkt der IMAB-Forschung. Die weitere Elektrifizierung der Mobilität benötigt neue elektrische Energiewandler, die neuen Anforderungen unterliegen. Im Rahmen des SE2A-Exzellenz-Clusters werden grundlegende Fragen der Zuverlässigkeit und der Auslegung von künftigen elektrischen Energiewandlern untersucht. In den Projekten CHYLA und ETHAN1 wird an Konzepten gearbeitet und innerhalb des Verbundprojekts EPROREF ein Flugantriebsdemonstrators erarbeitet.

Das IMAB arbeitet in Theorie und Praxis. Für die Vorausberechnung von z.B. Verlusten oder Lebensdauer bestehen bereits vielfältige Modelle. Für experimentelle Untersuchungen stehen Prüfstände für die Charakterisierung des elektrischen und thermischen Verhaltens sowie des Verhaltens unter Dauerbeanspruchung zur Verfügung. Für systemtechnische Untersuchungen haben sich IMAB-eigene Rapid Prototyping Systeme etabliert. Eine Vielzahl von Emulatoren

für Netze und unterschiedliche Lasten konnten beschafft und in Betrieb genommen werden. In den vergangenen zwei Jahren sind viele hochwertige Publikationen entstanden.

Im Jahr 2022 konnte am IMAB eine neue Junior Research Group unter der Leitung von Dr. Niklas Langmaack etabliert werden.

Junior Research Group Wiring Technologies

unterstützt von IMAB, elenia und IEMV, finanziert aus Mitteln der Exzellenzstrategie (Universitätspauschale), Laufzeit: 05/2022 - 12/2025



| | | | |
|---|--|--|--|
|  | applied superconductivity for mobility applications |  | sustainable automotive wiring concepts |
| innovative automotive E/E-architecture |  | wiring-caused EMI of drive systems |  |

Überblick

Die Antriebs- und Energiesysteme von privaten und kommerziellen Fahrzeugen, Flugzeugen und auch Wasserfahrzeugen erleben aktuell einen rapiden Wandel, und das aus guten Gründen. Die Elektrifizierung hilft, ihre Energieeffizienz zu steigern und erlaubt den vermehrten Einsatz regenerativ gewonnener Energie im Mobilitätssektor, unabhängig davon, ob diese in Batterien oder grünem Wasserstoff gespeichert wird. Aus diesem Grund wird an der TU Braunschweig eine große Vielzahl an Forschungsaktivitäten auf den Felder der elektrischen Antriebe, Energiespeichertechnologien, Brennstoffzellensystemen, Leistungselektronik, mobilen Energiesystemen und neuen Mobilitätskonzepten verfolgt. Die Junior Research Group Wiring Technologies ergänzt diese Aktivitäten durch einen speziellen Fokus auf neue Möglichkeiten der physikalischen Realisierung von elektrischen Energiesystemen und Kabelbäumen. Diese Forschungsarbeiten umfassen Themen wie den Einsatz neuartiger Materialien, die Berücksichtigung von Kabeleigenschaften bei der Modellierung und Analyse von Antriebssystemen, neue Verdrahtungskonzepte und die Funktionsintegration in Kabelbäumen. Die Ergebnisse werden hoffentlich die Art und Weise beeinflussen, wie mobile elektrische Energiesysteme in einer nachhaltigeren elektrifizierten Zukunft realisiert werden.

Forschungsthemen

Insbesondere für den Einsatz in leistungsintensiven und gewichtssensiblen Anwendungen wie Flugzeugen sind supraleitende Kabel eine vielversprechende Technologie. Unser Ziel ist es daher, die besonderen Eigenschaften und Anforderungen dieser Kabel zu beschreiben, um Leistungsverluste und Kühleinrichtungen zu minimieren.

In modernen elektrischen Antriebssystemen mit effizienten und sehr schnell schaltenden Leistungshalbleitern kann der Einfluss parasitärer Eigenschaften von Steckern und Kabeln bei Simulation, Verlustabschätzung und Systemdesign nicht mehr vernachlässigt werden. Daher müssen geeignete breitbandige Modelle für Kabel abgeleitet werden, um eine angemessene Berücksichtigung zu ermöglichen.

Die Automobilindustrie sieht sich bei Leitungssätzen für Fahrzeuge mit einer Reihe von Herausforderungen konfrontiert, wie z.B. steigende Bandbreiten- und Sicherheitsanforderungen durch immer mehr autonome Fahrfunktionen, hochautomatisierte Fertigung und Montage sowie eine zuverlässige und nachhaltige Rohstoffversorgung. Wir unterstützen diesen Bereich des technologischen Wandels, z.B. mit Forschung zur Funktionsintegration in Kabelbäumen.

Aktueller Fortschritt

Johanna Anspach verfolgt das Ziel der Bewertung des AC-Verlustverhaltens supraleitender Kabel in einem kryoelektrischen Antriebsstrang. In ihrer aktuellen Forschung fokussiert sie sich auf die simulative Analyse der Verluste unter Verwendung der Integralen-Methode in Matlab. Sie untersucht dabei die Auswirkung anwendungsspezifischer Parameter auf die AC-Verluste des Supraleiters. Beispielsweise die Auswirkung einer nicht idealen Sinuskurve, verzerrt durch harmonische Oberwellen.

Mohammadreza Bagheribavaryani konzentriert sich derzeit auf die Parameterextraktion und Echtzeitschätzung der parasitären Kapazität von Wechselstromkabeln in einem elektrischen Antriebssystem (EDS) durch die Anwendung des Kalman-Filter-Ansatzes. Er untersucht auch die Auswirkungen der Verkabelung und Verdrahtung auf das EMV-Niveau eines typischen elektrischen Antriebssystems. In seiner aktuellen Forschung wird ein Hochfrequenzmodell eines Wechselstromkabels in einem typischen EDS auf der Grundlage der Leitungstheorie abgeleitet. Dieses Modell wird dann verwendet, um den hochfrequenten Stromfluss im Wechselstromkabel auf der Grundlage von in Echtzeit messbaren Größen wie Spannung und Strom im EDS zu simulieren. Schließlich werden die parasitären Elemente des abgeleiteten Modells mit Hilfe des Kalman-Filter-Ansatzes in Echtzeit geschätzt.

Insgesamt hat die Gruppe bereits vier verschiedene wissenschaftliche Publikationen und Poster vorgestellt, um mit der Community über die relevanten Forschungsthemen in Kontakt zu treten und zu diskutieren. Mit unserem externen Mitglied Paul Ohnesorge an der OHLF in Wolfsburg stehen wir auch in engem Kontakt und regem Austausch mit dem Projekt "Transformations-Hub Leitungssatz", einem Verbundprojekt, das die Transformation der Automobil- und Kabelbaumindustrie hin zu mehr Elektrifizierung, Automatisierung und Nachhaltigkeit unterstützen soll.

3.1 Forschungsaktivitäten am IMAB

Bei den Forschungsaktivitäten zeigt sich auch in den beiden hier betrachteten Jahren eine weite Streuung von rein theoretischen Forschungsarbeiten zu Auslegungs- und Berechnungsthemen bis hin zu praktischen Aufbauten von leistungselektronischen Schaltungen, elektrischen Maschinen und Prüfständen.

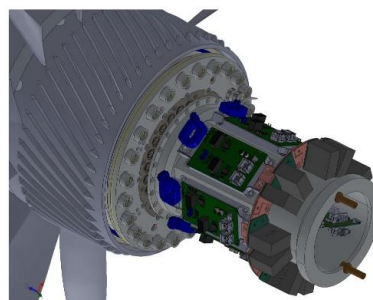
EPROREF – Elektrische Propulsoren für Regionalflugzeuge

M.Sc Dirk Ferch

Das Projekt EPROREF hat die Entwicklung eines elektrischen Antriebssystems für kleine bis mittlere Passagierflugzeuge mit einer Kapazität von 50 Passagieren und einer Reichweite von ca. 1000 km zum Ziel. Um eine höchstmögliche Effizienz zu erreichen, wird das System aus Propeller, Motor und Leistungselektronik in seiner Ganzheit betrachtet und entwickelt. Hierfür werden die Einzelkomponenten bestmöglich auf das Gesamtsystem abgestimmt und optimiert. Das IMAB konzentriert sich innerhalb des Projekts auf die Entwicklung eines Wechselrichters. Die Komponenten Propeller und Elektromotor werden von unseren Projektpartnern IFAS (Institut für Flugantriebe und Strömungsmaschinen) und Oswald Elektromotoren GmbH entworfen. Der Wechselrichter leistet 250 kW bei einer Zwischenkreisspannung von 1 kV und einer hohen Schaltfrequenz von bis zu 50 kHz. Wegen ihrer guten Effizienz kommen Silizium-Karbid-Halbleiter (SiC) zum Einsatz, die sich durch hohe Flankensteilheiten auszeichnen. Um einen bestmöglichen Wirkungsgrad zu erreichen, werden neben dem Vergleich verschiedener SiC-Halbleiter auch unterschiedliche Topologien und Phasenzahlen untersucht. Zwischen 2021 und 2023 wurde ein Prototyp des Wechselrichters aufgebaut und Vermessen. Dieser beruht auf einem modularen Konzept aus insgesamt sechs unabhängigen Phasen und einer Controllereinheit. Der Zwischenkreis wird mit einzelnen verteilten Modulen realisiert. Hintergrund hierfür ist die perspektivisch neue, zylindrische Anordnung innerhalb einer Flugzeuggondel, welche konstruktive Herausforderungen mit sich bringt. Besonders hinsichtlich des induktiven Verhaltens muss hier besonders Acht gegeben werden. Der Prototyp bringt Wirkungsgrade bis über 99 % in bestimmten Betriebsbereichen, ist auf die Flugrelevanten Eckpunkte getestet und ist, soweit es mit aktueller Technik möglich ist, nach höhentauglichen Bedingungen bis 6000 m Flughöhe ausgelegt. Er wurde gemeinsam mit einem elektrischen Prototyp der Antriebsmaschine auf einem IMAB Prüfstand in Betrieb genommen und vermessen. Für 2024 ist eine Inbetriebnahme des Gesamtsystems im Windkanal geplant.



Prototyp des Antriebswechselrichters



Geplante Integration des Antriebssystems

ETHAN1 - Sichere und zuverlässige Elektrische und Thermische Netzwerke für hybrid-elektrische Antriebssysteme

Vorhaben im LuFo VI-2 | Verbundvorhaben gefördert durch das BMWK, FKZ: 20L2103A

M.Sc. Lukas Radomsky, M.Sc. Jonas Franzki

Um die wirtschaftlichen Ziele einer umweltfreundlichen, sicheren und wettbewerbsfähigen Luftfahrt zu erreichen, ist ein ganzheitliches systematisches Vorgehen bei der Auslegung elektrifizierter Flugantriebe und mobiler elektrischer Netzwerke notwendig. Das Ziel von ETHAN ist daher die gekoppelte Betrachtung von elektrischen und thermischen Systemen für das hybrid-elektrische Fliegen. Hierdurch soll eine Optimierung und Gewichtsreduktion der Systeme unter Berücksichtigung der luftfahrtspezifischen Umgebungsanforderungen gefunden werden.

Im Fokus der Entwicklung elektrischer Maschinen für die Luftfahrt stehen die Steigerung der Effizienz und Leistungsdichte der Maschinen, um den Energieverbrauch zu reduzieren und so leichte Flugzeuge mit hohen Passagierzahlen und Reichweiten auch bei elektrifizierten Flugzeugen zu erreichen. Dafür muss die elektromagnetische und engverbunden die thermische Leistungsfähigkeit von elektrischen Maschinen weit über den Stand der Technik hinaus optimiert werden. Wir führen eine umfassende Analyse durch, die die Optimierung von Wicklungen, Magnetmaterialien und Kühlungstechniken umfasst. Die thermische Leistungsfähigkeit ist ein kritischer Aspekt der elektrifizierten Flugzeugtechnologie, insbesondere bei elektrischen Maschinen, da sie in einer Umgebung mit extremen Temperaturen betrieben werden und temperaturkritische Bauteile wie Magnete und elektrische Isolation umfassen. Unsere Untersuchungen konzentrierten sich darauf, wie sich die Hitzeentwicklung bei unterschiedlichen Kühlungslösungen auf die Maschinen auswirkt, um die Leistungsgrenzen der Kühlungslösungen zu bestimmen. Zur Verifizierung der thermischen Leistungsfähigkeit wurde ein Prüfstand für direkte Nutzkühlung aufgebaut. Im nächsten Jahr werden umfassende Untersuchungen zum thermischen Übergang bei Nutzkühlung und die erreichbaren Stromdichten durchgeführt.

Bei hohen geforderten Antriebsleistungen und verteilten Antriebssystemen wird eine Reduktion der Ströme im HVDC-Bordnetz durch Erhöhung der Bordnetzspannung angestrebt. Für die Höhe der Bordnetzspannung sind die einsetzbaren Leistungshalbleiter und Inverter-Topologien ausschlaggebend. Topologie, Leistungshalbleiter und deren Aufbautechnik bestimmen wiederum die Notwendigkeit bzw. Volumen und Gewicht von Filterkomponenten. Innerhalb einer Konzeptstudie werden Leistungselektroniken für ein solches HV-Bordnetz untersucht. Unter den Kriterien Leistungsdichte, EMV- und Maschinen- Filteraufwand sowie Lebensdauer und Zuverlässigkeit werden Inverter-Topologien, wie beispielsweise B6, NPC, ANPC, bestückt mit WBG-Halbleitern (SiC, GaN) verglichen. Ausgehend von dieser Bewertung wird die Demonstration eines Inverters für HVDC-Bordnetze in der Luftfahrt zur Erprobung von Einzeltechnologien in einer anwendungsnahen Forschungsplattform experimentell durchgeführt. Untersucht werden soll hierbei der Einfluss der Topologie, der Halbleiter, deren Aufbautechnik, der Schaltgeschwindigkeit, des Steuerverfahrens und der Betriebspunkte, auch unter Extremelast, auf Effizienz, Leistungsdichte, EMV und Filterdesign.

CHYLA-Credible Hybrid Electric Aircraft

CS2-RIA Research and Innovation Action

JTI-CS2-2020-CFP11-THT-14: Scalability and limitations of Hybrid Electric concepts up to large commercial aircraft

M.Sc. Lukas Radomsky, Dr. Lucas Vincent Hanisch

Ziel des Projektes CHYLA ist es, einen Überblick über die Möglichkeiten, Herausforderungen und Grenzen der Skalierung von Technologien im Bereich der hybrid-elektrischen bzw. nachhaltigen Luftfahrt zu geben. CHYLA stützt sich auf die Expertise von Instituten der TU Braunschweig, der TU Delft und der University of Southampton.

Forschungsinitiativen im Bereich der hybrid-elektrischen bzw. nachhaltigen Luftfahrt befassen sich in der Regel nur mit einem einzigen Flugzeug oder einer einzigen Flugzeugklasse. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass für das schnelle Erreichen eines ausreichenden technologischen Reifegrades, wie in anderen Bereichen in denen es auch galt neuartige Antriebslösungen zu etablieren, ein Ansatz verfolgt werden sollte, bei dem eine Technologie im Kleinen erprobt und anschließend auf immer größere Flugzeug- bzw. Fahrzeugklassen hochskaliert wird.

CHYLA setzt an diesem Punkt an und will einen Beitrag zur Entwicklung hybrid-elektrischer Luftfahrt leisten, indem es einen Überblick über die Möglichkeiten, Herausforderungen und Grenzen der Skalierbarkeit „radikaler“ Schlüsseltechnologien (*engl. key radical technologies*) gibt. Außerdem wird in CHYLA die Plausibilität (*engl. credibility*) von Modellansätzen über einen in die Zukunft reichenden Zeitraum betrachtet. Unter dem Begriff des sog. „plausiblen Flugzeugentwurfs“ (*engl. credible aircraft design*) wird untersucht, ob die getroffenen Parameterannahmen auch in vielen Jahren noch ihre Gültigkeit besitzen

Neben dem Überblick über die Möglichkeiten, Herausforderungen und Grenzen der Skalierung von Hybrid-Elektro-Technologien ist es ein Ziel von CHYLA, sogenannte die "Umschaltunkte" (*engl. cross-over points*) im Zusammenhang mit der Skalierung solcher Technologien über verschiedenen Flugzeugklassen hinweg herauszuarbeiten. Es werden Chancen und Grenzen für verschiedene Technologien erwartet, wenn diese in Flugzeuge unterschiedlicher Klassen zur Anwendung kommen.

Von Seiten des IMAB wurden die Leistungselektronik und die Energieverteilung sowie Energiespeichersysteme und elektrische Maschinen modelliert. Die Modellierung erfolgt in analytischer Form und soweit wie möglich physikalisch fundiert. Hierbei wird auf Verluste, Masse- und Volumenprädiktion eingegangen. Darüber hinaus ist es notwendig, eine Vorhersage für die zukünftige Entwicklung der Energiedichte der Energiespeichersysteme zu treffen.

SaReMO - Safety, Resilience and Maintenance, Repair & Overhaul of Future Aviation Systems (SaReMO)

Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur (Fördernummer: ZN3945) in der Initiative „Exzellenz stärken“

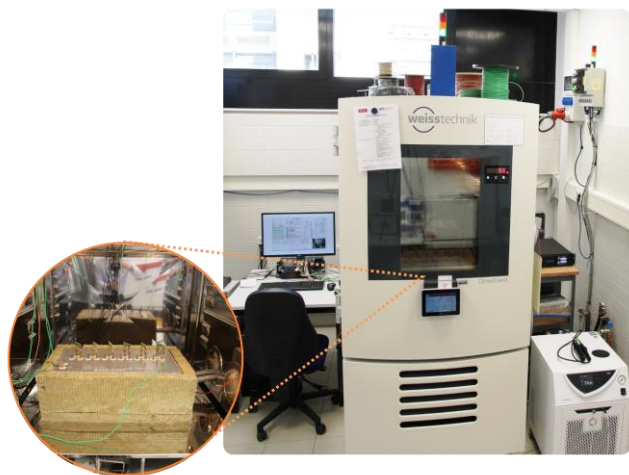
M.Sc. Hendrik Schefer, Dipl.-Ing. Jan Hoffmann

Das Forschungsprojekt (SaReMO) dient dazu, Forschungsfragen für die nächste Antragsphase der „Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder“ zu identifizieren und schon erste Fragestellungen in Publikationen niederzuschreiben. Ein Team aus mehreren Instituten (TU BS IFAS, TU BS IFL, TU BS IDS, TU BS IMAB, DLR Institut für Instandhaltung und Modifikation) erarbeitet dabei interdisziplinäre Fragestellungen im Bereich der Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wartung, Reparatur und Überholung neuer alternativer Antriebskonzepte eines zukünftigen Flugzeuges.

Dabei einigte sich das Team auf ein hybrides Antriebskonzept basierend auf einer V2000, um die interdisziplinären Gruppenmitglieder einbinden zu können. Das IMAB lieferte Informationen und Modelle zu Ausfällen der elektrischen Komponenten innerhalb eines alternativen Antriebskonzeptes.

Des Weiteren werden im Kontext der Leistungselektronik experimentell-gestützte Untersuchungen an Kriechstrecken auf Leiterplatten durchgeführt. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Betrachtung des Einflusses von Frequenz und Spannungssteilheit von Halbleitern mit breiter Bandlücke. Dazu ist ein Prüfstand entwickelt worden, welcher eine besonders schnelle Kommutierung bei relativ kleinen Überspannungen an den Prüfgütern ermöglicht. Der Prüfstand (Bestandteil der modularen Zuverlässigkeitsprüfumgebung) verwendet dabei einen wassergekühlten selbst-entwickelten du/dt -Generator und stellt der statistischen Auswertung ebenfalls die Daten des Prüflaufes zur Verfügung. Die Daten werden in einem echtzeitfähigem Messsystem (cRIO von National Instruments) ausgewertet und abgelegt.

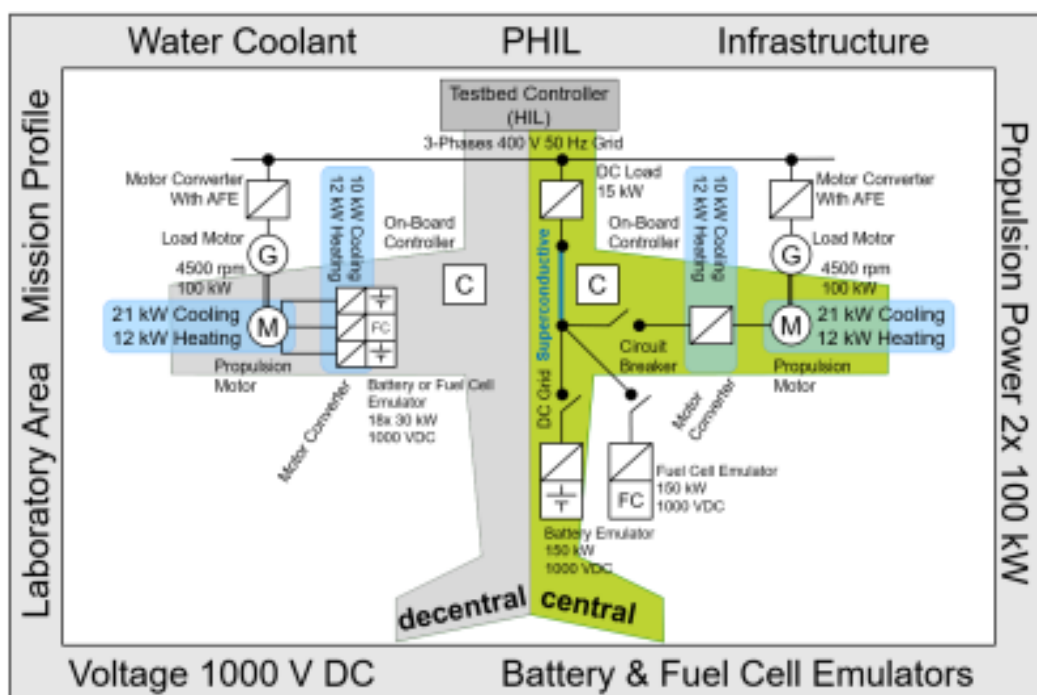
In den nachfolgenden Arbeiten soll der Einfluss von Frequenz und Spannungssteilheit zu anderen Belastungsparametern, wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Kontamination ins Verhältnis gesetzt werden.



E²AGLE - Electric Aircraft Ground Lab Environment

Im Rahmen des Exzellenz-Clusters „Sustainable and Energy-Efficient Aviation“ (SE²A) soll das elektrische Bordnetz von zukünftigen Verkehrsflugzeugen untersucht werden. Die Elektrifizierung von Antriebssträngen in Luftfahrzeugen ist an eine Reihe von Randbedingungen geknüpft, die unmittelbare Auswirkungen auf das Flugzeugdesign haben. Verteilte Propulsor-Antriebe bewirken beispielsweise neue aerodynamische Möglichkeiten, gehen aber mit neuen, dann auch verteilt ausgelegten Bordnetzstrukturen einher. Hierbei spielt die Anordnung von Speichern, das verfügbare Spannungsniveau und die Ansteuerung der Antriebe eine wesentliche Rolle bei der Einhaltung von Effizienz- und Gewichtszielen. Funktionell muss zudem die nötige Redundanz im Fehlerfall gegeben sein. Hierdurch ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten, das Antriebssystem selbst und insbesondere das Bordnetz hinsichtlich der Energie- und Informationsflüsse zu gestalten.

Um diese topologischen Möglichkeiten und die sich daraus ergebenden Fragestellungen grundlegend zu untersuchen, wurde eine Versuchsumgebung beantragt, die modular aufgebaut wird und die Darstellung sowohl von zentralen als auch von dezentralen Strukturen oder Kombinationen von beiden Ansätzen ermöglicht.



Die Untersuchung der Bordnetztopologien und der zugehörigen Komponenten findet im Rahmen des Exzellenzclusters SE²A an zwei Standorten statt, an der Leibniz Universität Hannover (LUH) und an der TU Braunschweig (TU BS). Dabei bilden an der LU Hannover die dezentralen Ansätze den Schwerpunkt, während an der TU BS die zentralen Ansätze im Fokus stehen.

Seit Mitte Oktober 2023 laufen die ersten Ausschreibungen zur Beschaffung der einzelnen Komponenten. Geplant ist, dass Ende 2024 beide Prüfstände einsatzbereit an Ihren jeweiligen Standorten stehen.

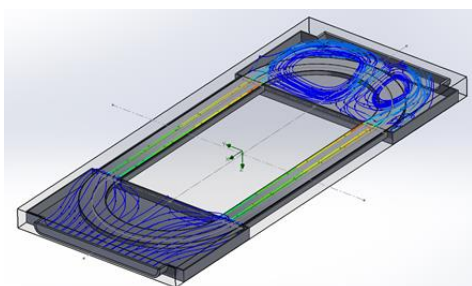
ICA C 4.1 Electric Propulsion Drive Concepts for Future Electrified Aircraft

(01.06.2019-31.12.2022), gefördert durch die „Exzellenzstrategie“ des Bundes: EXC 2163

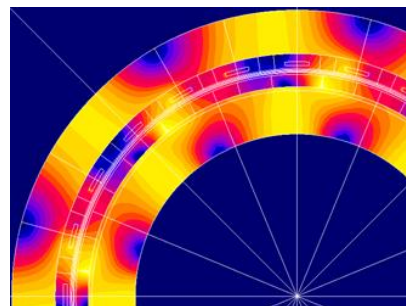
Dipl.-Ing. Jan Hoffmann

Das übergeordnete Ziel dieses Projekts war es, ein bevorzugtes Antriebssystemkonzept und -design zu finden, das zu einer minimalen Gesamtmasse einschließlich Motor, Umrichter, Kühlsystem und Energiespeicher führt.

Für den elektrischen Flugantrieb wurde der optimale Durchmesser in einer Optimierung von Elektromotor und Propeller untersucht. Die Technologie der direkten Flüssigkeitskühlung der Wicklung erwies sich als Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Leistungsdichte und zur Verbesserung des Wirkungsgrads aufgrund einer niedrigeren Wicklungstemperatur im Reiseflugbetrieb. Das Stromdichteoptimum wurde in einem Bereich von bis zu 25 A/mm² ermittelt, abhängig von den Randbedingungen des Flugzeugs (Reichweite, Energiespeichertechnologie). Speichenförmig angeordnete Magnete bieten als Rotortopologie den Vorteil hoher Flussdichten und eines guten Schutzes vor Entmagnetisierung. Neben der Untersuchung von normalleitenden Maschinen wurden auch supraleitende Maschinen untersucht. Zur Simulation von supraleitenden elektrischen Antrieben wurde ein parametrisches 2D-FEM-Modell erstellt. Hiermit können verschiedene Eigenschaften wie Leistungsgewicht, Spulenlänge, magnetische Flussdichten an den Leitern, Verluste und verschiedene Spulenanordnungen bestimmt werden. Das Antriebsmodell ist mit einem Schaltungsmodell gekoppelt, um Spannungen, Ströme und auch Kurzschlussfälle zu simulieren. Dieses kann auch mit einer transienten mechanischen Simulation zur Schwingungsanalyse und Drehmomentanalyse gekoppelt werden. Weiterhin wurde ein Modell zur Simulation von supraleitenden Bändern und deren Stapeln erstellt, da klassische Wirbelstrommodelle für Supraleiter nicht anwendbar sind, da die Stromdichteverteilung anders ist.



Gas-cooling simulation of a superconducting motor coil



FEM-model of superconducting drive

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass supraleitende elektrische Antriebe herausragende Vorteile bieten, nämlich die sehr hohe Leistungsdichte von bis zu 50 kW/kg bei sehr geringen Verlusten, die Wirkungsgrade von über 99,5 % ermöglichen. In Kombination mit der LH₂-Energiespeicherung können hohe Synergieeffekte hinsichtlich des Kühlsystems erzielt werden, so dass die Kühlung des Antriebs nur mit LH₂ erfolgen kann, was dieses Antriebssystem zu einem äußerst vorteilhaften Ansatz für zukünftige Flugantriebe macht.

SE²A - Sustainable and Energy-Efficient Aviation

ICA C 4.2 Power Supply System for All Electric Aircraft

(01.06.2019-31.12.2022)

gefördert durch die „Exzellenzstrategie“ des Bundes: EXC 2163

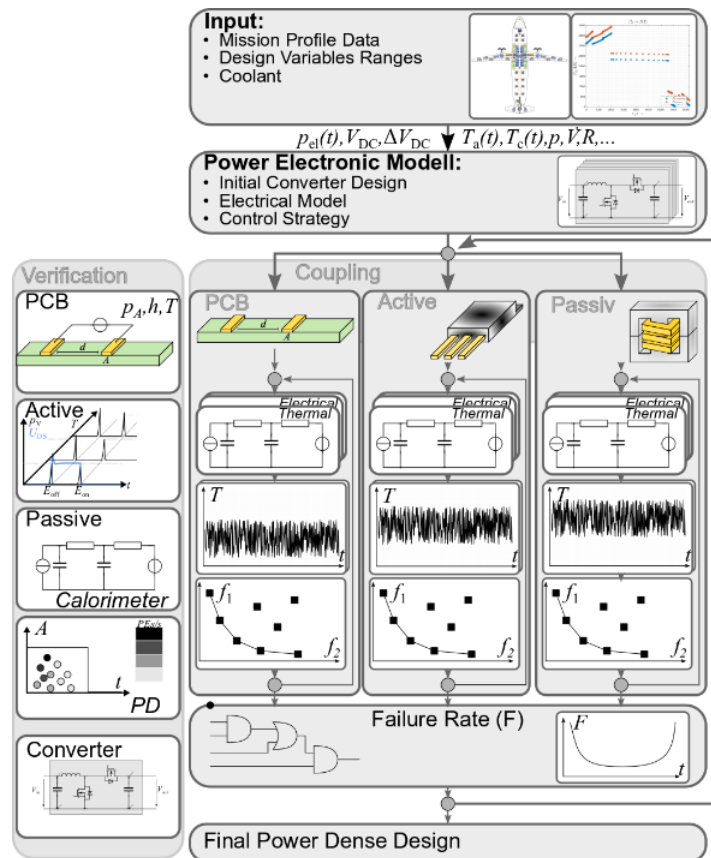
M.Sc. Hendrik Schefer

Das Cluster SE²A befasst sich mit der Gestaltung des nachhaltigen und zukunftsorientierten kommerziellen Luftverkehrs. Hierbei kann durch die Elektrifizierung der Flugzeuge eine CO₂-Reduktion, die Verringerung der Lärmemissionen sowie die Vermeidung von NO_x erreicht werden. Das Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen beschäftigt sich im Rahmen des Clusters mit der Gestaltung der elektrischen Energieversorgung im Flugzeug.

In dem Teilprojekt „Electric Power Supply System for an All Electric Aircraft“ wird an einer Methodik für die zuverlässigkeitsorientierte Auslegung von Leistungselektronik gearbeitet. Im Rahmen der Auslegung sind Kenntnisse über die Zuverlässigkeit von passiven Bauelementen von Interesse. Eine experimentelle Verifikation an leistungselektronischen Bauelementen ist ebenfalls Bestandteil des Projektes.

Es wird ein Hochvoltansatz basierend auf WBG-Halbleiter mit Flüssigkühlung favorisiert. Hohe Spannungen und hohe Spannungsänderungsgeschwindigkeiten stellen hohe Ansprüche an die Isolationskoordination. Eine geforderte hohe Leistungsdichte und die harschen Umweltbedingungen in einer Flughöhe von 6.000 bis 13.000 Metern erfordern eine zuverlässigkeitsorientierte Designmethodik.

Ein weiterer Ansatz ist die Verbringung der Leistungselektronik in ein kryogenes Arbeitsumfeld. Hierzu wurden am IMAB die Charakteristika von verschiedenen Halbleitertypen für den Betrieb bei tiefen Temperaturen erfasst.



SE²A – Sustainable and Energy-Efficient Aviation

ICA C 4.1 Reliable and Robust Electrical Power Conversion for Electrified Aircraft Propulsion Systems (01.01.2023-31.12.2025)

gefördert durch die „Exzellenzstrategie“ des Bundes: EXC 2163

M.Sc. Arsham Asgari, M.Sc. Robert Keilmann

Das Exzellenzcluster SE²A - EXC 2163 ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das darauf abzielt, Technologien zur nachhaltigen und umweltfreundlichen Weiterentwicklung des Luftverkehrs zu untersuchen. Innerhalb dieses Clusters – nun in der zweiten Förderperiode – kooperieren Forscher aus den Bereichen Luftfahrt, Elektrotechnik, Energie, Chemie und Design, um Emissionen zu reduzieren, die Lärmbelastung zu mindern, die Wiederverwertbarkeit von Luftverkehrssystemen zu verbessern und das Luftverkehrsmanagement weiterzuentwickeln. Die Partnerinstitutionen in SE²A umfassen die TU Braunschweig, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Leibniz Universität Hannover (LUH), die Hochschule für Bildende Künste Braunschweig (HBK) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), die sich auf Grundlage von Kooperationsverträgen beteiligen.

Ein elektrischer Antriebsstrang kann den Klimaeinfluss zukünftiger Luftfahrtflotten erheblich reduzieren. Ein elektrischer Antriebsstrang zeichnet sich durch seine vielseitige Einsetzbarkeit aus. Daher sind voll elektrische, hybrid-elektrische und supraleitende elektrische Antriebsstränge Optionen, wobei bei der letztgenannten hauptsächlich Brennstoffzellen als Energiequelle verwendet werden.



Diese elektrischen Systeme eignen sich für alle drei fokussierten Flugzeugklassen im SE²A-Cluster: Kurz- Mittel- und Langstreckenflugzeug. Das Projekt untersucht supraleitende bis hin zu "normal gekühlten" HV DC-Energieverteilungsarchitekturen, die einem zentralisierten Ansatz folgen. Das Energieverteilungsnetz muss hohe Leistungen übertragen, dabei effizient, leistungsstark, zuverlässig und fehlertolerant sein. Die Gesamtleistungsdichte steigt mit der Spannung (im kV-Bereich) oder durch die Verwendung von Supraleitung.

Eine Forschungsfrage betrifft die Effizienz, Leistungsdichte, Zuverlässigkeit und Lebensdauer des gesamten Energiesystems, bestehend aus elektrischen Maschinen, Invertern, Kabeln, Sicherheitsschaltern und spannungsregelnden DC/DC-Wandlern zu Energiequellen wie Brennstoffzellen und Batterien. In diesem Projekt wird ein mehrkriterieller optimierungsansatz entwickelt, der den optimalen elektrischen Antriebsstrang basierend auf sorgfältig analysierten elektrischen Komponenten für die Energieumwandlung in allen Flugzeugtypen des SE²A-Clusters ermöglicht. Dies begegnet der Herausforderung starker Wechselwirkungen zwischen der Geräteebene, der Komponentenebene und der Systemebene, die bereits in der ersten Phase des SE²A-Clusters identifiziert wurden. Die elektrischen Energiequellen und das Kühlsystem sind wesentliche Verbindungen zu anderen Projekten und unterstreichen die notwendige interdisziplinäre Herangehensweise.

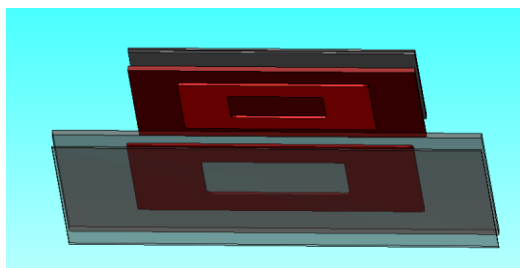
EFILS11 – Funktionsmusterentwicklung Elektrofahrzeuge Induktivladesystem 11 kW

Verbundvorhaben gefördert durch das BMWK, FKZ: 01MV21003B

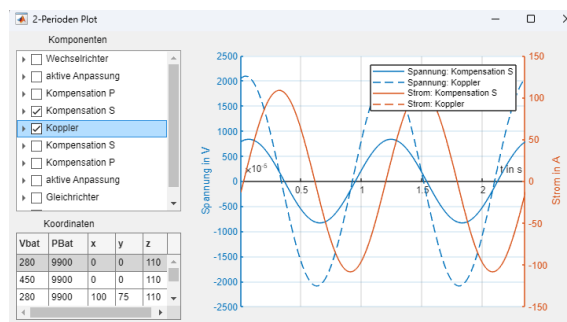
M.Sc. Hendrik Marks

Durch das zunehmende Interesse an emissionsfreien Elektrofahrzeugen ist auch die Ladetechnologie in den Vordergrund gerückt. Das induktive Laden bietet eine komfortable Alternative zum konduktiven Laden und ist in einigen Anwendungsfällen die vorteilhaftere Technologie. Insbesondere mit Blick auf autonom einparkende Fahrzeuge ergibt sich aus dem Wegfall der mechanischen Verbindung zwischen Fahrzeug und Infrastruktur großes Potential, da keine menschliche Interaktion im Ladeprozess notwendig ist.

Um die Technologie voranzubringen wurde in dem Projekt EFILS11 ein Funktionsmuster eines induktiven Ladesystems mit 11 kW aufgebaut. Der Fokus lag dabei insbesondere auf der Interoperabilität zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Ziel soll es sein, mit jedem Fahrzeug herstellerunabhängig auf jeder Ladestation induktiv laden zu können.



Design einer induktiven Ladespule



Analytische Spulenberechnung

Aus diesem Grund entwickelte das IMAB in dem Rahmen des Projekts eine universelle mathematische und simulative Beschreibung des elektrischen und magnetischen Teils des Induktivladesystems. Mit diesen Tools ist es möglich, schnell und zuverlässig jedes bestehende Induktivladesystem zu berechnen und eine Neuauslegung eines Systems zu beschleunigen. Das Modell beinhaltet sowohl die analytische elektrische Beschreibung (Abbildung rechts) als auch die simulative Beschreibung des magnetischen Spulensystems mittels FEM.

Ausgehend von diesen Modellen wurde zusammen mit Partnern aus der Industrie ein Ansatz zur Beschreibung und Festlegung der Interoperabilität von Spulensystemen erarbeitet und als Vorschlag in die Normungsgremien eingereicht. Der Vorschlag beinhaltet die physikalische Beschreibung der Interoperabilität auf Basis magnetischer Flüsse, die es ermöglicht, Interoperabilität mit minimalen mechanischen und elektrischen Einschränkungen des Systems zu garantieren. So kann beispielsweise die Spule unter dem Fahrzeug bestmöglich an den gegebenen Bauraum angepasst werden. Durch die Standardisierung hat das IMAB direkten Einfluss auf die zukünftigen Generationen induktiver Ladesysteme und ggf. die Serienproduktion.

LISA4CL - Induktive Ladetechnik für den lokalen Lieferverkehr

Verbundvorhaben gefördert durch das BMVI, FKZ: 03EMF0106A

M.Sc. Tim-Hendrik Dietrich, M.Sc. Hendrik Marks

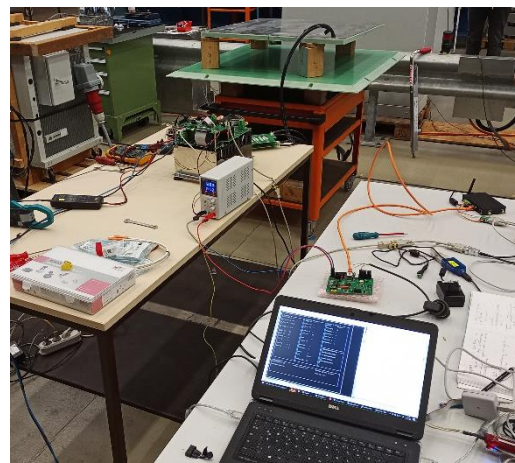
Das Projekt LISA4CL (Laden – induktiv, schnell, autonom für City Logistik) befasst sich mit induktiver Ladetechnik für den innerstädtischen Lieferverkehr. Die kontaktlose Energieübertragung bietet für die vorliegende Anwendung eine praktische und in den Arbeitsablauf integrierbare Lösung für die Elektrifizierung von Lieferfahrzeugen und damit einhergehend die Möglichkeit zur Reduzierung lokaler Emissionen im Lieferverkehr. Mit einer Ladeleistung von 22 kW, einem möglichst hohen Wirkungsgrad und einer erhöhten Unempfindlichkeit des Systems gegen Versatz wurden die Randbedingungen des Ladesystems unter Berücksichtigung der Ansprüche für den wirtschaftlichen und praktischen Einsatz des Fahrzeugs gewählt. Während im vorherigen Jahresbericht schwerpunktmäßig von der elektromagnetischen Auslegung und Dimensionierung des Ladesystems berichtet wurde, stehen im aktuellen Berichtszeitraum die Erprobung, der praktische Aufbau und die Ausrüstung des e-Crafters, sowie die Inbetriebnahme des Systems im Mittelpunkt.

Nachdem die Systemauslegung des induktiven Energieübertragungssystems abgeschlossen wurde, erfolgten zunächst die praktischen Versuche mit Labormustern der Leistungspfadkomponenten. Hierbei konnten die Funktionsfähigkeit des Systems und ein hoher Wirkungsgrad der Übertragung von über 92 % zwischen primär- und sekundärseitigem Zwischenkreis nachgewiesen werden. Davon ausgehend wurden alle Komponenten für die Ausrüstung des Fahrzeugs aufgebaut, sowie die notwendige Peripherie entwickelt. Zusätzlich wurde die notwendige Software für alle Komponenten geschrieben und ein übergeordneter Betriebsablauf für das System entwickelt, in den sich die Komponenten aller drei Entwicklungspartner einfügen. Zusammen mit den Projektpartnern elenia und der INTIS GmbH wurde das Fahrzeug anschließend ausgerüstet und das Induktivladesystem konnte im Fahrzeug in Betrieb genommen werden. Um die zuverlässige Funktion des Fahrzeugs im Feldtestbetrieb zu gewährleisten folgten umfangreiche Versuchsreihen, in denen insbesondere Fehlerfälle, Fehlbedienungen und verschiedene Ladesituationen erprobt wurden.

Nach dem Aufbau der Ladestation beim Versanddienstleister und Projektpartner fairsenden GmbH in Berlin im Oktober 2023 konnte mit dem Feldtest des induktiven Ladesystems im realen Lieferverkehr begonnen werden. Neben der Auswertung der anfallenden Betriebsdaten werden am IMAB auch die Prüfstandsversuche fortgesetzt, um das Ladesystem weiter zu optimieren und mögliche Perspektiven für die Zukunft abzuleiten.



Fertig installierte Ladestation in Berlin



Erprobung der Komponenten im Labor

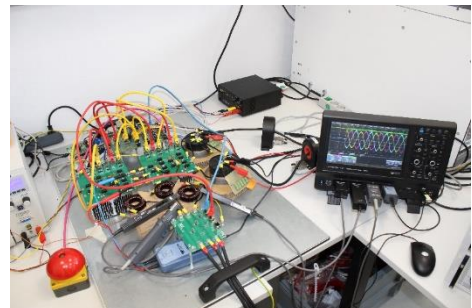
NetFlexum - Next Generation verbrauchsnahe PV-Kombisysteme für Haushalt und Gewerbe für mehr Netzdienlichkeit, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit; Teilvorhaben: Zuverlässige Erbringung von Momentanreserve

Verbundprojekt gefördert durch das BMWK, FKZ: 03EI4054A

M.Sc. Philipp Hauenschild, M.Sc. Matthias Klintz,

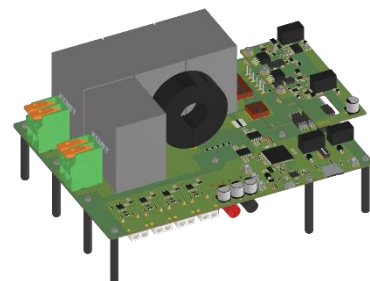
Das Teilvorhaben verfolgt Fragestellungen für die zuverlässige Bereitstellung von Momentanreserve und zur Abdeckung von Kurzschlussströmen mit Prosumersystemen. Eine Erweiterung von kleinen und mittleren dezentralen Prosumersystemen soll somit stärker zum netzdienlich stabilen Betrieb des Verbundnetzes beitragen. Derzeitig wird die Momentanreserve der europäischen Verbundnetze hauptsächlich durch rotierende Systeme mit großer und träger Masse bereitgestellt. Durch eine Zunahme von Prosumersystemen, die auch auf Förderprogramme zurückzuführen sind, kann in den stationären Batterien bzw. später in 2nd-Life Fahrzeugbatterien, sowie in batterieelektrischen Fahrzeugen, Energie gespeichert oder abgegeben werden. Im Falle des Abrufes der Momentanreserve bzw. von Kurzschlussströmen wird das einzelne Prosumersystem stark belastet. Das Auftreten und die Dauer dieser Belastung soll betrachtet werden, um die Auswirkungen auf die Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Prosumersysteme sicherzustellen. Hier setzen die zwei Forschungsbereiche des IMABs im Projekt an:

Die Untersuchung bidirektionaler Ladegeräten für stationäre, sowie Fahrzeugbatterien zur Bereitstellung von Momentanreserve. Dabei liegt der Fokus auf nicht galvanisch trennend leistungselektronischen Topologien und deren Ausführung, unter der Fragestellung des sicheren Betriebs und der entstehenden Ableitströme, sowie deren Minimierung. Dies wird unter Nutzung einer Rapid Prototyping Umgebung mit praktischen Versuchen verifiziert



Der Zweite Forschungszweig umfasst die Untersuchung von Leistungshalbleitern der Ladegeräte. Diese sollen im Betrieb überwacht und anhand von Alterungsmodellen für die erhöhte Belastung untersucht werden. Des Weiteren besteht das Bestreben, einen bevorstehenden Ausfall zu erkennen und ggf. Maßnahmen zu ergreifen.

Zur kontinuierlichen Überprüfung der Leistungshalbleiter wurde im Rahmen des Projektes ein Parameteranalyser (Curve Tracer) beschafft. Die Alterung der Halbleiter erfolgt am PowerTester (PowerCycler). Zur Untersuchung der Forschungsfragen wird im Projekt ein Demonstrator aufgebaut, welcher verschiedenen Halbleitern und Messschaltungen beinhalten kann.

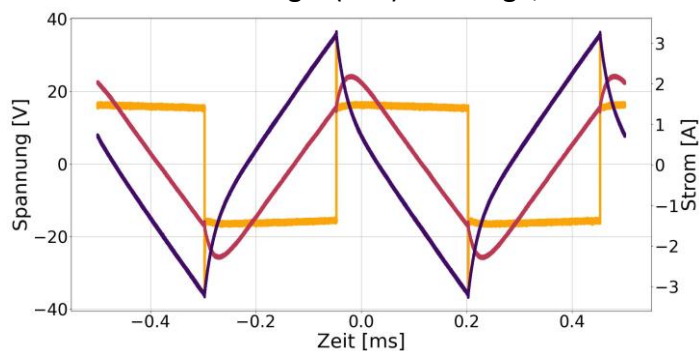


CODAPE – Kollaborative Entwicklungsumgebung für die Leistungselektronik

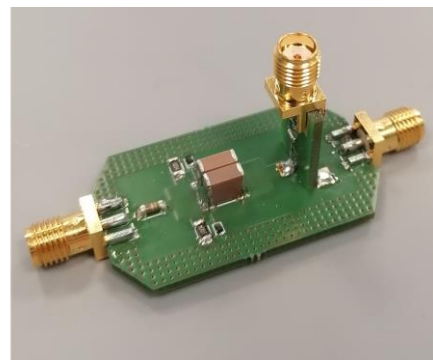
gefördert durch das BMBF unter Förderkennzeichen: 16ME0357

M.Sc. Tobias Fricke

Die aktuell bei der Entwicklung leistungselektronischer Systeme vorherrschende Vorgehensweise orientiert sich stark an dem allgemein bekannten V-Modell. Darüber hinaus spielt aber auch der Erfahrungsschatz der Entwickler eine große Rolle. In Summe führt dies oft dazu, dass die Entwicklungsarbeit an einzelne Arbeitsgruppen, Abteilungen oder sogar Unternehmen verteilt wird. Diese Vorgehensweise führt im späteren Verlauf des Entwicklungsprozess bei der Zusammenführung der Ergebnisse durch fehlende Schnittstellendefinitionen und Austauschprozesse zu Problemen und unnötigen zeitlichen Verzögerungen. Die Zielstellung der Projektpartner PE-Systems GmbH (Projekt-Koordinator), BLOCK Transformatoren-Elektronik GmbH, Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) und dem IMAB ist es daher, eine kollaborative Entwicklungsumgebung für leistungselektronische Systeme über Unternehmensgrenzen hinweg zu entwickeln. Diese soll eine systematische Optimierung der Systeme unter Einbezug der Optimierungspotentiale einzelner Teilkomponenten ermöglichen. Dabei wird die von der PE-Systems GmbH entwickelte, webbasierte Entwicklungsumgebung PE-Finder eine Basis für Erprobungen und Weiterentwicklungen bilden. Um Optimierungspotentiale möglichst effizient ausschöpfen zu können wird das Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) neuartige, kaskadierte Optimierungsalgorithmen integrieren.



Links: Messung der Strom-Asymmetrie zweier parallel gewickelter HF-Litze im Push-Pull-Betrieb



Rechts: Entwickeltes DC-Bias-Tee zur Impedanzvermessung von Kondensatoren bis 120 MHz

Der Hauptaufgabenbereich des IMAB besteht darin, die von der kollaborativen Entwicklungsumgebung produzierten Ergebnisse zu verifizieren. Dazu wird das IMAB Messungen von Leistungshalbleitern, magnetischen Bauelementen, Kondensatoren sowie einem Testsystem durchführen. Der Fokus der Untersuchungen liegt dabei auf magnetischen Bauelementen sowie auf Kondensatoren. Beispielsweise wurden gemeinsam mit BLOCK Messungen zur Stromaufteilung parallel gewickelter HF-Litze durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden aus dem NetProsum-Projekt vorhandene Leistungselektroniken umfunktioniert.

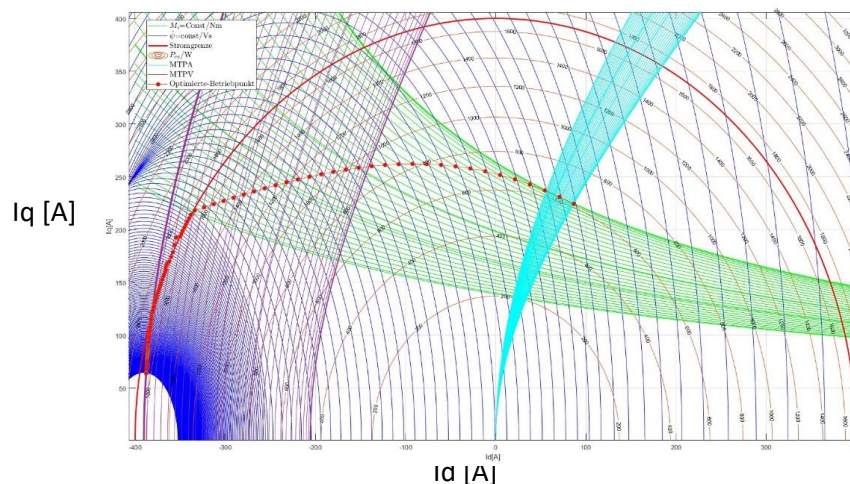
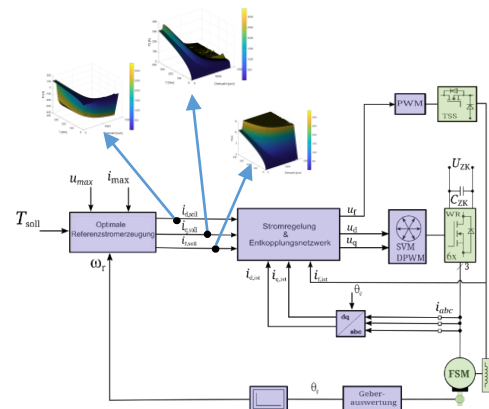
Optimale Stromregelung für fremderregte Synchronmaschinen

M.Sc. Abdullah Sharaf

Um einen optimalen und sicheren Betrieb bei einer fremderregten SM gewährleisten zu können, spielt bei der Antriebsregelung insbesondere die Sollstromberechnung eine entscheidende Rolle, die abhängig von Maschinenverlusten und innerhalb der Grenzkennlinie die optimalen Referenzströme berechnet. Im Rahmen dieses Projekts wurden verschiedene Regelungsziele für die Sollwertführung wie beispielsweise Maximum Torque per Ampere (MTPA) oder verlustminimale Betrieb (Maximum Efficiency) implementiert und untersucht. Die optimalen Sollströme werden berechnet und als Kennfeld in der Regelung hinterlegt. Die Betriebsverfahren wurden durch Simulation untersucht, analysiert und dadurch die verlustoptimale Stromsollwerte realisiert. Besonders bei der FSM wird der Feldstrom als dritter Freiheitsgrad der Steuerung eingeführt.

Bei Erhöhung des Feldstroms ist eine Verschiebung des MTPA- und MTPV-Verläufe hin zu negativen Längsströmen innerhalb des zweiten dq-Quadranten ersichtlich. Bei der vorgestellten Modellbildung werden ein paar Vereinfachungen angenommen. Beispielsweise wird von einer reinen Hauptwellenverkettung mit magnetisch entkoppelter Längs- und Querachse ausgegangen. Darüber hinaus wird die Maschine als idealer Energiewandler im Stationären Betrieb angesehen.

In den nächsten Schritten wird sich die Arbeit auf eine dynamische verlustoptimalen Betriebsverfahren für die Berechnung optimaler Sollwerte konzentriert, in dem die Sättigungseffekten und die weitere Verluste wie. Z.B Eisenverluste berücksichtigt werden. Das grundlegende Prinzip wird einen FEM-basierten Verfahren eingesetzt. Im Anschluss werden geeignete Vermessungsroutine entwickelt die dann auf einem Prüfstand umgesetzt werden können, um die Parameter von Maschinenmodell als auch von Regelung kalibrieren zu können.



Optimierungstrajektorien zur Minimierung der Wärmeverluste

Batterielader

M.Sc. Matthias Klintz, M.Sc. Cengiz Uzlu, M.Sc. Minjia Chen

Durch die Variation der Batterien, ob als Speicher für stationäre Photovoltaik-Anlagen oder Fahrzeugbatterie, ist es schwierig das ideale Ladegerät zu entwerfen. Bei den Variationen der Batterien kommt es insbesondere auf Ladespannung und Ladeleistung an. Um den Kunden und Nutzern das Laden möglichst zu vereinfachen, werden verschiedene Ladegeräte auf die jeweiligen Einsatzgebiete abgestimmt. Ziele wie Bauraum, Gewicht, Kosten und Wirkungsgrad stehen bei der Entwicklung im Vordergrund. Am IMAB werden solche Ladegeräte bzw. Teile solcher Ladegeräte entworfen, aufgebaut und vermessen.

Um erhöhte Reichweiten der Elektrofahrzeuge zu erzielen sind neue Ansätze erforderlich. Im Zuge der Forschungsaktivitäten werden alternative Konzepte für Ladegeräte erarbeitet, die den zukünftigen Trends gerecht werden. Nur durch den Einsatz der Wide-Bandgap-Halbleitertechnologien wie SiC und GaN ist die Erhöhung der Schaltfrequenzen realisierbar. In Abhängigkeit der verwendeten Schaltertechnologien werden des Weiteren eine Vielzahl an unterschiedlichen Topologien in Betracht gezogen. Neben den bewährten 2-Level-Topologien werden auch Mehr-Level-Topologien aufgrund des erhöhten Spannungslevels im Fahrzeug sehr interessant.

Entwicklungsplattform für Ladegeräte am IMAB

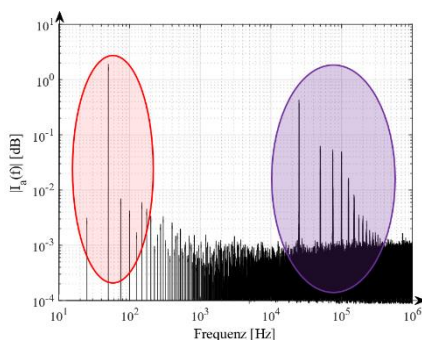
Im Zuge der Entwicklung von Ladegeräten ist eine Entwicklungsumgebung für Ladegeräte entstanden, an der schon viele Ergebnisse der Dissertation von Konstantin Siebke verifiziert werden konnten.

Weiterer Arbeiten sorgen für eine stetige Erweiterung dieser Entwicklungsumgebung. Zum einen zur Erhöhung der nutzbaren Leistungen und zum anderen durch alternative Topologien, um höhere Spannungen unter Nutzung von Wide-Bandgap-Halbleitern (wie GaN) zu gewährleisten.

Weiterentwicklungen und Untersuchungen

Im Zuge weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten untersuchen wir verschiedene Topologien bis 30kVA, unter zur Hilfenahme der Ladegeräteentwicklungsumgebung. Beispiele sind:

- Leistungsfaktorkorrekturschaltungen,
- Galvanisch trennende DC/DC-Wandler und
- Nicht-Galvanisch trennende DC/DC-Wandler.



Diese Topologien werden je nach Anforderung unidirektional oder bidirektional betrieben. Zudem werden in diesen Topologien verschiedene Halbleiter eingesetzt, mit der Orientierung auf Wide-Band-Gap Halbleitern aus GaN und SiC. Im Fokus solcher Untersuchungen stehen zu dem auch verschiedene Modulationsarten der jeweiligen Brückentopologie und deren Auswirkungen auf das EMV-Verhalten des Systems.

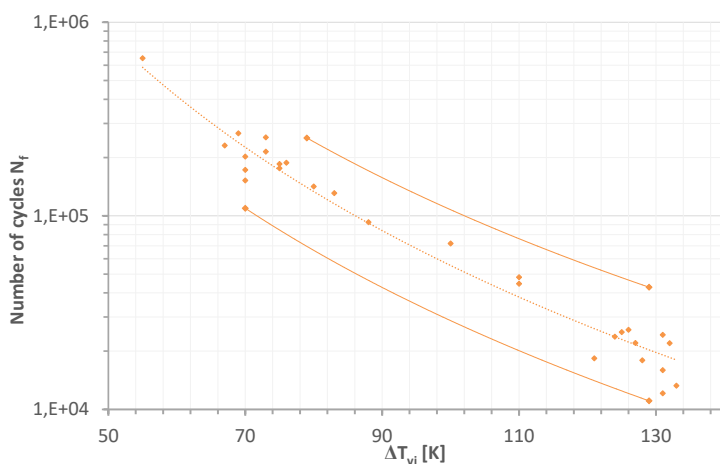
Lebensdauermodelle für Leistungshalbleiter und Lebensdauerabschätzung von Invertern

M.Sc. Florian Lippold

Um die Lebensdauer von Leistungselektronik abschätzen zu können, müssen Lebensdauermodelle für die verwendeten Halbleiter erstellt werden. Um ein Lebensdauermodell zu erstellen, müssen Lastwechseltests bei verschiedenen Temperaturhüben und absoluten Temperaturen durchgeführt werden. Wide Band Gap (WBG) Bauteile wie Siliziumkarbid (SiC) MOSFETS oder Galliumnitrid (GaN) auch GaN-Kaskoden sind unter Lebensdaueraspekten noch exotisch.

Beim Lastwechseltest fließt der Laststrom zyklisch durch den Prüfling, der sich dabei erwärmt und anschließend abkühlt. Bei jedem Zyklus kommt es in jeder Materialschicht zu einer mechanischen Ausdehnung. Dadurch entstehen im Bauelement Risse. Aus den Lastwechselergebnissen können Lebensdauermodelle abgeleitet werden.

Erstellung von Lebensdauermodellen



Die Lebensdauermodelle und ihre Parameter werden mittels „curve fitting“ gewonnen. Da es sich bei den Lastwechseltests um beschleunigte Alterungstests handelt, werden die Kurven für niedrige Temperaturhübe extrapoliert.

Lebensdauerabschätzung von Invertern



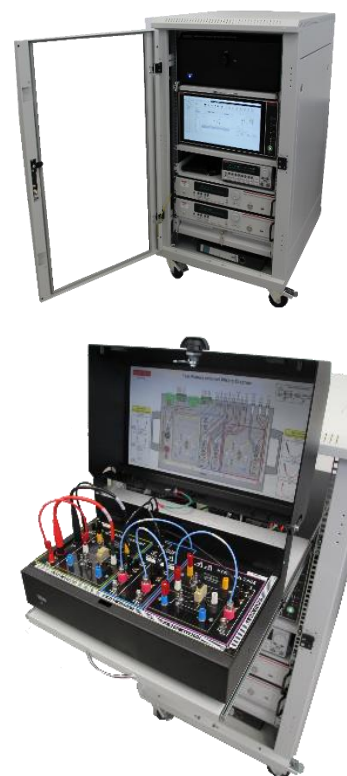
Die Lebensdauermodelle werden mit Lastprofilen und Verlustberechnungen verknüpft und somit die Lebensdauer des Inverters abgeschätzt. Je nach Aufbau des Inverters können Aussagen zur Lebensdauer gemacht werden.

3.2 Neue Prüfstandstechnik am IMAB

Dipl.-Ing. Peter Hoffmann, Dipl.-Ing. Jan Hoffmann, M.Sc. Philipp Hauenschild und Hendrik Schefer

Prüfstand zur Untersuchung elektrischer Parameter von Halbleiterbauelementen

Mit dem Einsatz von Leistungshalbleitern in immer mehr sicherheitsrelevanten Bereichen steigen die Anforderungen an die Zuverlässigkeit. Da die Datenblätter der Hersteller nur für explizite Betriebspunkte und neue (nicht gealterte) Leistungshalbleiter angegeben sind erfolgte die Beschaffung eines Parameteranalysators (Curve Tracer). Mit dem Parameteranalysator ist es möglich synchronisierte Messungen für Strom-Spannung (I-U), Kapazität-Spannung (C-U) und ultraschnell gepulste I-U-Messungen durchzuführen. Des Weiteren kann der Parameteranalysator mit der vorhandener und zukünftiger temperier Technik des Institutes kombiniert werden. Es können Ströme bis 50 A und Spannungen bis 3000 V, sowie Frequenzen von 1 KHz bis 10 MHz als Quelle vorgegeben werden. Die Messauflösung variiert zwischen den SMU und gewählten Messbereichen. Kombiniert mit dem vorhandenen Julabo Presto W55 können Temperaturen zwischen -55°C und 200°C erreicht werden.



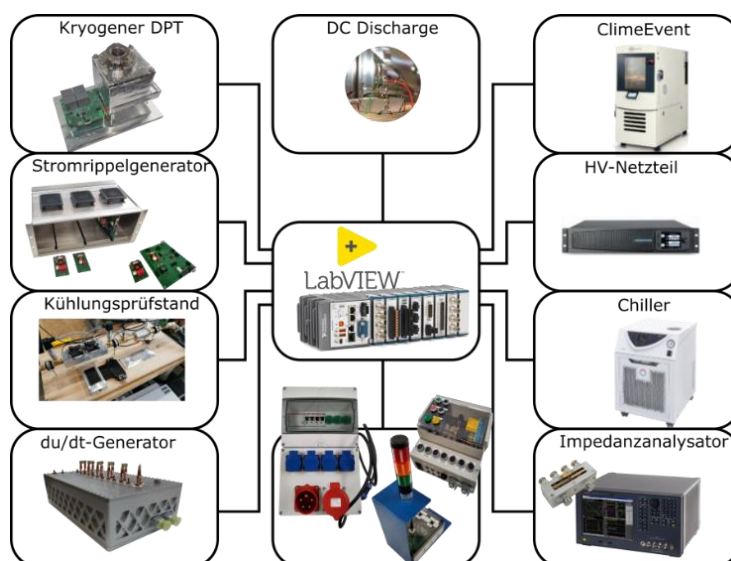
Der Parameteranalysator besteht aus folgenden Komponenten in einem rollbaren Racksystem: Keithley 4200A-SCS, 2636B, 2657A, 2651A, 8010 High Power Device Test Fixture

Modulare Zuverlässigkeitsprüfumgebung

M.Sc. Hendrik Schefer

Im Rahmen der Projekte „SE²A-Sustainable and Energy-Efficient Aviation“ und “SaReMO - Safety, Resilience and Maintenance, Repair & Overhaul of Future Aviation Systems“ ist eine modulare Prüfstandsumgebung entstanden, welche Fragestellungen rund um die Elektrifizierung der Luftfahrt beantworten soll. Herausforderungen bestehen in der hohen geforderten Zuverlässigkeit

bei hoher geforderter Leistungsdichte unter herausfordernden Umweltbedingungen. Zur Erzielung der hohen Leistungsdichte stehen besonders Halbleiter mit breiter Bandlücke im



Fokus, welche gleichzeitig höhere Bordnetzspannungen, hohe Betriebstemperaturen und höhere Schaltfrequenzen ermöglichen als konventionelle Si-basierte Halbleiter. Schnelle Spannungsänderungen, hohe Spannungsbelastungen, hohe Schaltfrequenzen und ein möglicher erweiterter Temperaturbereich der Leistungselektronik fordern passive Bauelemente, Isolationskriechstrecken und -materialien. Dazu sind eine Reihe von Prüfaufbauten entwickelt worden.

Die zentrale Einheit bildet ein echtzeitfähiges Messsystem cRIO von National Instruments. Mit dieser Einheit können selbst-entwickelte Prüfaufbauten, wie ein kryogener Doppelpulsprüfstand, ein selbst-entwickelter Stromrippelgenerator für die Alterung von Kondensatoren, ein wassergekühlter du/dt-Generator zur Alterung von Kriechstrecken und Isolationsmaterialien von Wicklungsgütern und ein Kühlungsprüfstand, über eine CAN-Schnittstelle angesteuert werden. Ferner können mit Hilfe der cRIO und ihrem modularem Aufbau Messdaten erhoben und weitere Prüfstandsbestandteile, wie Klimaschrank, Umwälzkühler und Hochspannungsnetzteil, angesteuert werden. So können verschiedenste Prüfstandskonfigurationen, welche verschiedenste Forschungsfragen beantworten sollen, zusammengestellt werden.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der modularen Zuverlässigkeitsumgebung ist eine Auswertung der Sicherheitsschleife. Die unabhängige Hardware wertet Brandmelder, Leckagesensoren, Notastaster und Fehlerschleifen der Prüfstandsgeräte aus. Im Fehlerfall werden alle Komponenten vom Netz getrennt.

Zuverlässigkeitsprüfstand für Lastwechseltests

M.Sc. Florian Lippold

Mit steigendem Einsatz von Leistungshalbleitern in diversen Anwendungsbereichen rückt die Frage der Zuverlässigkeit in den Focus. Speziell im Bereich „Automotive“ und „Elektrisches Fliegen“ sind Untersuchungen in thermischen Grenzbereichen durchzuführen. Der beschaffte Lastwechselprüfstand ist in der Lage sowohl einen breiten thermischen Testbereich als auch einen großen Leistungsbereich abzudecken. Verschiedenste Halbleitertechnologien und Gehäuseformen können vollautomatisiert gealtert werden. Dabei können mehrere Millionen Lastwechsel in einem Test absolviert werden.



Prüfumgebung

Prüfstand zur Untersuchung von Alterungs- und Ausfallmechanismen in elektrischen Isoliersystemen

Dr. Lucas Vincent Hanisch, M.Sc. Tim-H. Dietrich

Für die Entwicklung zuverlässiger elektrischer Maschinen unter erhöhten Anforderungen ist ein Verständnis der Alterungs- und Ausfallmechanismen in Isolationssystemen unabdingbar. Im Bereich der elektrischen Maschinen führen u.a. die steigende Betriebsspannung von elektrischen Traktionsantrieben und die durch den Einsatz von modernen Wide-Bandgap-Halbleitern gesteigerte Flankensteilheit am Wechselrichterzugang zu einer zunehmenden Belastung der Wicklungsisolation. Um die dadurch an die Gestaltung der Maschine gestellten Anforderungen berücksichtigen zu können, sind neben theoretischen Betrachtungen auch praktische Untersuchungen zum Ausfallverhalten unterschiedlicher Wicklungsvarianten und – ausführungen notwendigen. Zu diesem Zweck setzte das IMAB auf einen weitgehend selbstentwickelten Prüfstand, der die periodische Belastung der zu untersuchenden Prüflinge mit einstellbaren Schaltflanken und definierten Temperaturen erlaubt. In einem zweiten Schritt ist zudem die thermische Zyklisierung von Prüfkörpern möglich. Die Alterung von Isolationssystemen bis hin zu Ausfall erfordert allerdings oftmals mehrere tausend Stunden. Um innerhalb einer vertretbaren Messdauer Aussagen zur Alterung machen zu können und das Alterungsverhalten über die Zeit zu bestimmen, wird der Alterungsprozess der Prüfkörper periodisch unterbrochen und mithilfe einer Teilentladungsmessung die Veränderung des Prüflings untersucht (Messung der Degradation).



Prüflingsvarianten für die elektrische Alterung bei definierter Temperatur

3.3 Externe Forschungsthemen

Im Rahmen von Promotionsvorhaben bei wissenschaftlichen und industriellen Partnern sind folgende wissenschaftliche Untersuchungen unter Leitung des IMAB in der Bearbeitung bzw. abgeschlossen.

Untersuchung von Ummagnetisierungsverlusten in weichmagnetischen Materialien

M.Sc. Korbinian Pfnür (PTB Braunschweig), betreut durch Prof. Markus Henke

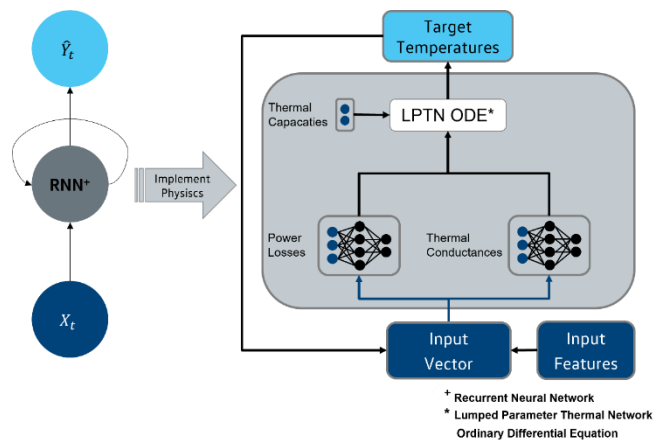
Korbinian Pfnür bearbeitet an der PTB im Rahmen seiner Doktorarbeit das EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) Projekt *HEFmag*. Dabei steht die Untersuchung von Ummagnetisierungsverlusten in weichmagnetischen Materialien unter normierten Bedingungen, d.h. 50Hz – 1kHz bei Raumtemperatur, im Vordergrund. Der in der ersten Hälfte des Projektes durchgeführte europäische Ringvergleich zwischen mehreren nationalen metrologischen Instituten (NMI) und mehreren Interessenvertretern aus der Wirtschaft hat ergeben, dass die Ergebnisse innerhalb von 1% Abweichung übereinstimmen. Die Ergebnisse des Ringvergleichs können auf der Projekt-Webpage <https://hefmag.inrim.it/> eingesehen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung ist ein verbesserter Aufbau zur Verlustmessung, welcher durch K. Pfnür konzipiert, gebaut und derzeit getestet wird. Der breite Anforderungskatalog an die Messapparatur: Bandbreite, Strom bis 30A und Spannung bis 100V ist dabei die größte Herausforderung. Definiertes Ziel des HEFmag Projektes ist es, die bisherige maximale Messfrequenz von 1kHz auf 5kHz zu erhöhen, da die Nachfragen aus der Wirtschaft nach Messdaten bei höheren Frequenzen stetig zugenommen haben. Wichtig in der Metrologie ist die Rückführbarkeit. Deshalb werden alle für die Messung relevanten Komponenten des neuen Messaufbaus derzeit rückgeführt kalibriert. Aus den Ergebnissen der Kalibrierungen wird mit Hilfe eines Modells die Unsicherheiten der Messergebnisse berechnet. Für die abschließende Validierung des Messaufbaus werden Vergleichsproben der PTB sowie Messergebnisse des Ringvergleichs verwendet.

Optimierte thermische Modellierung elektrischer Antriebe mittels künstlicher neuronaler Netze

M.Sc. Niels Wiese (Volkswagen AG), betreut durch Prof. M. Henke

Hybride Berechnungsmodelle (Kombination KNN mit analytischen Berechnungsmethoden) werden in dieser Arbeit auf unterschiedliche elektrische Maschinen für die Serienanwendung in EV angewendet sowie analysiert und evaluiert. Dabei steht das Adaptionverhalten des Modells in Bezug auf den Maschinentyp und das Kühlsystem im Fokus. Es werden Maßnahmen aufgezeigt, welche die Modellperformance für die



spezifische Anwendung erhöhen. Zudem wird der Messdatensatz hinsichtlich des erforderlichen Informationsgehaltes und der Verteilung der relevanten Einflussgrößen untersucht sowie die Möglichkeit der Einbeziehung von simulierten Maschinendaten eruiert. Das Ziel ist die Beurteilung, ob und zu welchen Anteilen reale Messungen durch Simulationsdaten ersetzt werden können. Abschließend wird das Modell auf einem Steuergerät eines Antriebs implementiert und durch Messungen am Prüfstand validiert sowie evaluiert.

Konzeptentwicklung für Querverteilungssysteme in Elektrofahrzeugen

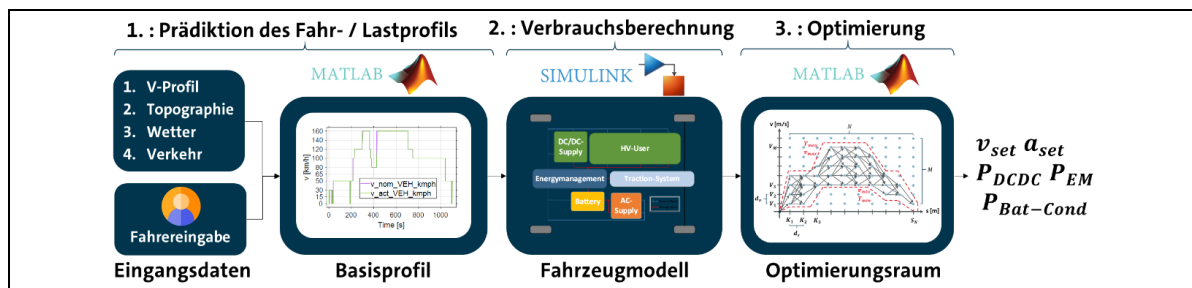
M.Sc. Nils Gruner (Volkswagen AG), betreut durch Prof. M. Henke

In der Vorentwicklung Fahrdynamik der Volkswagen AG soll zu vertretbaren Kosten ein Konzept für eine elektrifizierte Hinterachse zur Querverteilung der Antriebsmomente erforscht werden. Die Erwartung ist, eine emotionale Querdynamik mithilfe der Elektrifizierung zu erreichen. Hierbei sollen die Gütekriterien Erlebbarkeit, Individualisierung, Kundenrelevanz, Performance und Sicherheit eines solchen Konzeptes beleuchtet werden.

In konventionellen Fahrzeugen werden bereits heute schon Antriebsmomente bei Beschleunigung, Bremsmanövern und Kurvenfahrten auf einzelne Räder verteilt. Anhand von Erfahrungswerten und Testfahrten ist jedoch bekannt, dass eine Verteilung im normalen Verkehr nur für kurze Zeitspannen erfolgt. Das Ziel ist es daher, den Leistungsbedarf eines Systems zur Querverteilung von Antriebsmomenten kundenorientiert zu erheben. Die Anwendung der Methodik soll schlussendlich die fahrdynamischen Vor- und Nachteile der Konzepte abwägen und ihre Gütekriterien zusammenzufassen.

Entwicklung von modellprädiktiven Betriebsstrategien für Hochvoltverbraucher in Elektrofahrzeugen

M.Sc. René Schilling Johnson (Volkswagen AG), betreut durch Prof. M. Henke



Den Betrieb der HV-Komponenten für Fahrten mit mindestens einem Ladestopp, sowie für Fahrten bei niedrigen oder hohen Temperaturen gilt es zu verbessern. Zunächst wurde ein realitätsgetreues Gesamtfahrzeugmodell eines aktuellen MEB-Fahrzeuges erstellt. Das Modell dient als virtueller Prüfling, sowie zur Berechnung von Energie- und Leistungsverbräuchen. Es wurde anhand von Historiendaten und Labormessungen verifiziert. Im weiteren Verlauf wurde eine Prädiktion von realitätsnahen Fahr- und Lastprofilen mit Hilfe von REST-API erstellt. Die Prädiktion nutzt diverse Karten- und Historiendaten, um eine Vorhersage über das Geschwindigkeits-, Höhen-, und Wetterprofil entlang einer geplanten Fahrstrecke zu erstellen. Es wird untersucht wie mit Hilfe der Prädiktion eine verbesserte Vorkonditionierung der Traktionsbatterie während der Fahrt ermöglicht werden kann. Ziel ist es die Lade- und Gesamtreisezeit zu minimieren. Insbesondere soll ermittelt werden wie die Peripherie der Traktionsbatterie angesteuert werden muss, um ein verbessertes Schnelladeverhalten zu erreichen.

Empirische Lebensdauerprädiktion von Elektrolytkondensatoren in hochbeanspruchten Applikationen elektrifizierter Fahrzeuge

M.Sc. Philipp Adler (Volkswagen AG), betreut durch Prof. R. Mallwitz

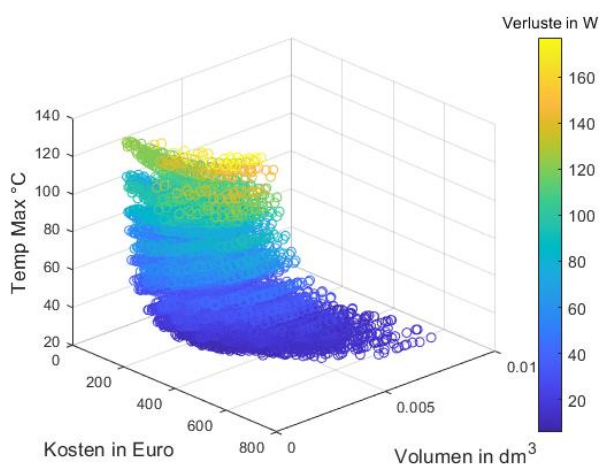
Die Elektromobilität hat den Kältemittelverdichter in Elektrofahrzeugen von einer Komfortfunktion zu einer Schlüsselkomponente gemacht. Durch die Temperaturregelung der Hochvoltbatterie erhöht sich die Betriebszeit des Verdichters, was die Lebensduranforderungen an die Elektrolytkondensatoren im Zwischenkreis des Kältemittelverdichters steigen lässt. Elektrolytkondensatoren bieten hohe Energiedichte und sind kostengünstig, jedoch zählen sie zu den Hauptursachen für Ausfälle in elektronischen Systemen. Daher ist es entscheidend sicherzustellen, dass sie über mindestens 15 Jahre Fahrzeuglebensdauer hinweg zuverlässig arbeiten. Eine Multi-Domänen-Simulation verknüpft verschiedene physikalische Disziplinen und berücksichtigt thermische und elektrische Effekte sowie deren Wechselwirkungen. Die Simulation, basierend auf Literaturdaten, FEM- und CFD-Simulationen, Messungen am realen System und Lebensdauertests der Kondensatoren, ermöglicht genaue Aussagen über die Eignung der Elektrolytkondensatoren für den Kältemittelverdichter. Diese Methodik kann auf andere elektrische Bauelemente und Fahrzeugkomponenten angewendet werden, um die Zuverlässigkeit bereits in der Entwicklungsphase zu verbessern.

Optimierung induktiver Bauteile für leistungselektronische Anwendungen

M.Eng. Sascha Langfermann (Block Transformatoren-Elektronik GmbH), betreut durch Prof. R. Mallwitz

In leistungselektronische Anwendungen sind induktive Bauteile ein essenzieller Bestandteil des Systems. Dabei haben die Bauteile einen erheblichen Einfluss auf die Kosten, den Wirkungsgrad, das Volumen und das Gewicht sowie das EMV-Verhalten des Gesamtsystems. Dabei ist es selten der Fall, dass Standard-Baureihen im mittleren bis hohen Leistungs- und Frequenzbereich verfügbar sind, sondern es muss folglich anwendungsspezifisch ausgelegt, optimiert und gefertigt werden.

Die Arbeit befasst sich mit der umfangreichen Modellierung induktiver Bauteile, um möglichst das Verhalten des Bauteils sowohl magnetisch als auch thermisch vorherzusagen, um eine



Optimierung des Bauteils gewährleisten zu können. Je nach den spezifischen Anforderungen an die Optimierung können unterschiedliche Detailgrade in der Modellierung erforderlich sein. Während in einigen Fällen eine grobe Abschätzung ausreicht, um beispielsweise eine schnelle Vorstellung von den Größen- und Kostendimensionen des Bauteils zu erhalten, sind in anderen Fällen detaillierte Modelle notwendig, um eine exakte Auslegung zu gewährleisten.

Mit steigendem Detailgrad und Parameterraum der Modelle steigt der Rechenaufwand und die erforderliche Zeit für die Modellierung und Berechnung. Ziel ist es, dass der Parameterraum und Detaillierungsgrad ausgewählt und eingestellt werden kann, um möglichst flexibel zu bleiben. Es ergibt sich eine Berechnungswolke, in der die optimale Lösung herausgesucht werden kann.

Entwicklung, Konstruktion und Steuerung eines modularen Mehrpunktumrichters für Mittelspannungsanwendungen mit EtherCAT Kommunikation

Jan-Henrik Fey, M.Eng., HS Flensburg, betreut durch Prof. R. Mallwitz

Der modulare Mehrpunktumrichter (MMC) hat sich in der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) bewährt. Es zeigt sich jedoch allmählich, dass die Topologie auch eine geeignete Lösung für Mittelspannungsanwendungen wie z. B. zur Netzeinspeisung von Windenergie sein kann. Einen modularen Mehrpunktumrichter per Bussystem – statt bisher zentral – zu steuern ist das Ziel der Untersuchungen. Die Modularität für die jeweilige Anwendung auch auf Seiten der Steuerung erleichtern und eine Erweiterbarkeit, z. B. um redundante Zellen, gewährleisten.

Zu Testzwecken entstand ein 350 kVA-Umrichter für 3 kV-Drehspannung sowie ein neues Prüffeld der HS Flensburg an dem das Regelungs- und Kommunikationskonzept untersucht und validiert wird. Im Falle des Demonstrators wurden zwei Submodule zu einem Doppelsubmodul (DSM) kombiniert. Ein DSM besteht aus zwei IGBT-Module (Halbbrückenmodule), zwei Kondensatoren, mehreren Sigma-delta-Wandlern für Messungen und einem gemeinsamen Field Programmable Gate Array (FPGA). Dieser Aufbau ermöglicht den Einsatz von schnell schaltenden Niederspannungs-IGBTs und reduziert den Anteil an dezentralen Steuerungen. Mit dem Busprotokoll EtherCAT wurde eine Echtzeitkommunikation zwischen den verteilten DSM und einer zentralen Steuereinheit (PLC) realisiert. Die Kommunikation zwischen den Powerstacks mit FPGA-Technologie erfolgt über eine redundante Ringtopologie. Die Schwerpunkte der Untersuchungen liegen auf Regelung und auf der Synchronisation der einzelnen dezentralen Steuerungen. Geeignete Methoden zur Reduzierung von negativen Auswirkungen auf die Harmonischen sollen Anwendung finden. Die aktuellen Messungen und Berechnungen bestätigen die bisherigen Annahmen auf dem Weg zum Ziel, das Ende 2019 erreicht sein soll.



Design Methodology for Drive Inverters with Integrated Sine Wave Filters based on Multi Objective Optimization Algorithms

M.Sc. Thorben Schobbe, betreut durch Prof. R. Mallwitz

Leistungselektronik soll möglichst effizient, kompakt und kostengünstig sein. Das stellt die Auslegung dieser Schaltungen vor große Herausforderungen, da sich diese Ziele gegensätzlich gegenüber stehen. Somit bedeutet die Auslegung, um diese Ziele zu erreichen, eine Suche nach dem optimalen Kompromiss. Der Lösungsraum einer Leistungselektronischen Schaltung ist mitunter sehr groß. Das Angebot an Leistungshalbleitern und Halbleitertechnologien wächst. Es gibt ein riesiges Angebot an Kondensatoren und das Design von magnetischen Bauelementen bietet viele Freiheitsgrade im Hinblick auf Kernmaterialien, Kernformen, Wicklungstopologien und Kernmaterialien. Aber auch Parameter wie die Schaltfrequenz und die Topologie der Schaltung selbst vergrößern den Lösungsraum. Wie kann aus so einem großen Lösungsraum der optimale Kompromiss gefunden werden? Viele Auslegungen werden sicher erfahrungsbasiert durchgeführt. Dabei wächst der Erfahrungsschatz, sowohl eines einzelnen Ingenieurs:in, als auch der Erfahrungsschatz, der in der Literatur festgehalten ist, je mehr Schaltungen ausgelegt, berechnet und experimentell untersucht worden sind. Dieser Ansatz ist aber mitunter sehr zeitintensiv und es ist schwierig sicherzustellen, dass der beste Kompromiss mit diesem „Best-Praxis-Ansatz“ wirklich gefunden wird. Ein weiterer Ansatz ist die computergestützte Variation von Designparametern. Dieser Lösungsansatz ist aber auch nur zielführend, wenn der Parameterraum begrenzt ist, da sich sonst eine zu große Komplexität ergeben würde. Wenn man sieben Parameter hat und jeder dieser zehn unterschiedliche Varianten hat, sind das schon Lösungen. Wenn jede Lösung 3 s Zeit zur Berechnung benötigt, muss 347 Tage gerechnet werden. Hier gibt es also großes Potenzial die Berechnung effektiver zu gestalten. Dieses Potential kann durch die Anwendung von

geeigneten statistischen Mehrzieloptimierungsalgorithmen erreicht werden. Der Vorteil dieser Algorithmen ist, dass nicht mehr alle Variationen berechnet werden müssen, sondern der Algorithmus das Ziel schneller findet.

In diesem Dissertationsvorhaben wird die Anwendung von genetischen Mehrzieloptimierungsalgorithmen für die optimale Auslegung von leistungselektronischen Schaltungen untersucht. Diese Algorithmen simulieren prinzipiell den Evolutionsmechanismus aus der Natur. Das bedeutet für die Anwendung in der Leistungselektronik, dass es eine Generation von Schaltungsdesigns gibt, welche der Folgegeneration ihre besten Eigenschaften weitergibt. Durch genetische Operatoren, sog. Cross-Overs oder Mutationen, werden darüber hinaus auch neue Varianten in der Nachkommengeneration erzeugt. Die Besten Lösungen setzen sich dann wieder durch und der Prozess wird wiederholt. Jede Generation wird an den Zielfunktionen gemessen. Diese Zielfunktionen sind in diesem Vorhaben das Volumen und die Verluste der gesamten Schaltung. Der Algorithmus findet in dieser Arbeit Anwendung für die Optimierung eines dreiphasigen Antriebswechselrichters mit Sinusfilter. Dabei wird hier ein besonderes Augenmerk auf die Untersuchung des NSGA2 Algorithmus gelegt. Eine Besonderheit ist, dass als Halbleitertechnologie SiC gewählt wird, was grundsätzlich die Verwendung von sehr kleinen Filtern ermöglicht und somit in einen Bauraum passt, welcher von Antriebswechselrichtern mit konventioneller Si-IGBT Technik benötigt wird. Ebenfalls hat die SiC-Technologie das Potential, dass die Gesamtverluste des Sinuswellenwechselrichters nicht größer als die des konventionellen Wechselrichters werden.

Eine Herausforderung, welche in diesem Vorhaben behandelt wird, ist die möglichst genaue aber rechenzeitoptimale Modellierung der Eigenschaften der Schaltung. Hier wird besonders die Modellierung der Verluste der magnetischen Bauelemente und Halbleiter betrachtet. Darüber hinaus ist auch die korrekte Beschreibung von Randbedingungen, wie beispielsweise die Sättigung von magnetischen Kernmaterialien, die Einhaltung von Temperaturgrenzen durch thermische Modelle der Bauelemente oder die Einhaltung von Limits der leitungsgebundenen Störaussendung zu berücksichtigen. Das Ergebnis eines Optimierungsvorgangs ist in Abbildung 1 dargestellt. Es lässt sich eine Pareto-Front von optimalen Lösungen im Hinblick auf minimale Verlustleistung und minimales Volumen identifizieren. Aus diesen kann jetzt der beste Kompromiss gewählt werden. Beispiele aus diesen Lösungen werden als Case-Study aufgebaut und mit Hilfe einer für dieses Vorhaben entwickelten Forschungswechselrichterplattform vermessen. Anhand dieser Ergebnisse wird dann die Gültigkeit der verwendeten Modelle nachgewiesen.

Anhand dieser Arbeit wird das Potential von Mehrzieloptimierungsalgorithmen in der Anwendung der Leistungselektronik gezeigt, um die optimale Schaltungsauslegung mit sehr vielen Designparametern effizient durchzuführen und den besten Kompromiss zu finden.

3.4 Abgeschlossene Promotionen am IMAB

In den Jahren 2022 - 2023 konnten einige Promotionen am IMAB erfolgreich abgeschlossen werden. Im Folgenden ein kurzer Überblick:

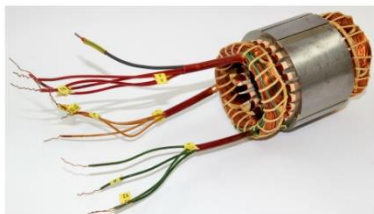
Zuverlässigkeitsorientierte Auslegungsmethodik elektrischer Maschinen unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Isolationssystemen

*Dr.-Ing. Lucas Vincent Hanisch, Promotion am IMAB TU Braunschweig, 2023
betreut durch Prof. Markus Henke*

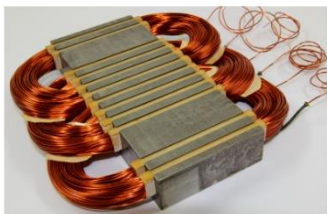
Im Gegensatz zu stationär betriebenen Industriemaschinen werden Traktionsmaschinen in Fahrzeugen dynamisch belastet und erreichen die Maximaltemperatur der Wärmeklasse nur bei seltenen extremen Fahrmanövern. Die Verwendung der Dauergebrauchstemperatur als Kennwert für die Belastbarkeit führt daher zu einer Überdimensionierung des Isolationssystems. Zusätzlich erhöhen Innovationen wie schnellschaltende Wide-bandgap (WBG) Halbleiter und die 800V-Technik die elektrische Belastung des Isolationssystems, sodass der Fokus auf die thermischen Schädigungsmechanismen in modernen Traktionsmaschinen als unzureichend eingeschätzt wird.

In der Dissertation wird anhand von Lebensdaueruntersuchungen nachgewiesen, dass die elektrische Belastung bei den oben genannten Innovationen gegenüber der thermischen Belastung nicht vernachlässigbar ist. Es wird ein statistisches Modell auf Basis des Design of Experiments (DoE) entwickelt, das die Lebensdauer in Abhängigkeit multiphysikalischer Belastungsparameter beschreibt und dazu beiträgt, das Verständnis der Ausfallmechanismen

zu erweitern. Zusätzlich trägt diese Dissertation zu einem Paradigmenwechsel bei, die Belastbarkeit direkt anhand der Lebensdauer und nicht anhand der Wärmeklasse zu bestimmen. Darüber hinaus bietet die Entwicklung eines Modells zur Spannungsverteilung IngenieurInnen ein Werkzeug, um die reale Spannungsbelastung einer elektrischen Maschine abzuschätzen und entsprechend der Zuverlässigkeitsanforderungen geeignete Zielgrößen wie die Impulse Voltage Insulation Class (IVIC) vorzugeben.



(a) Unverschalteter Stator mit offenem Sternpunkt zur Ansteuerung der einzelnen Phasen



(b) Motorette zur Abbildung des realen EIS



(c) Kegel-Platte-Anordnung

Da Teilentladungen die elektrische Alterung signifikant beeinflussen, wird neben den Lebensdaueruntersuchungen die Zuverlässigkeit verschiedener Isolationmaterialien anhand ihrer Teilentladungsaktivität beurteilt. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, inwieweit dickere Isolationmaterialien die Repetitive Partial Discharge Inception Voltage (RPDIV) erhöhen und so zu einer erhöhten Zuverlässigkeit beitragen können. Die Messergebnisse und entwickelten Modelle werden in einem methodischen Ansatz zur zuverlässigkeitsorientierten

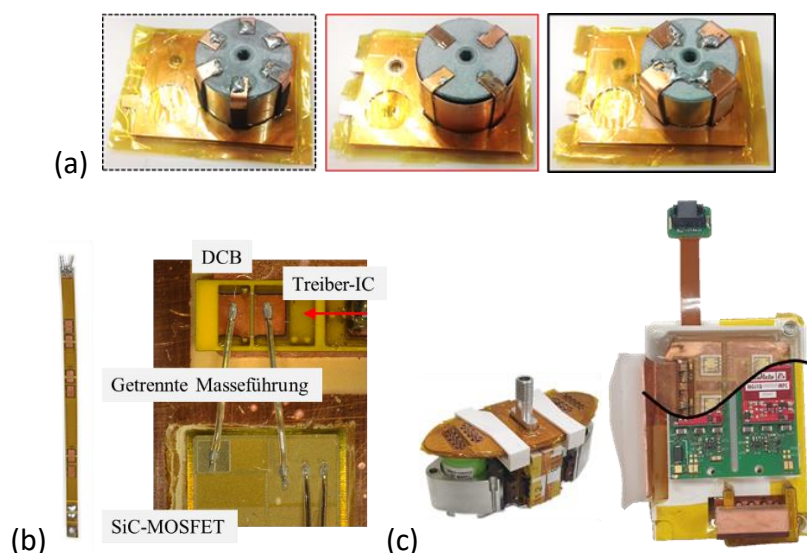
Maschinenauslegung implementiert. Da dieser Ansatz detailliertere Betrachtungen der Belastungsgrenzen und Ausfallmechanismen in einer frühen Entwicklungsphase vorsieht, ermöglicht er, Maschinen näher an ihren Betriebsgrenzen auszulegen und so Optimierungspotenziale auszuschöpfen, die durch überdimensionierte Isolationssysteme entstanden sind.

Analyse und Optimierung der parasitären Elemente in integrierten SiC-Traktionsumrichtern hoher Leistungsdichte

Dr.-Ing. Jasper Schnack (Fachhochschule Kiel, jetzt Jungheinrich AG), betreut durch Prof. R. Mallwitz

Das Gebiet der schnellschaltenden Leistungshalbleiter wird seit jeher von den parasitären Effekten dominiert. So stellen ihre Untersuchung und die Beherrschung der daraus resultierenden Phänomene eine zentrale Disziplin der modernen Leistungselektronik dar. Die Einflüsse der parasitären Elemente können sowohl die Funktionsweise als auch die Sicherheit der elektronischen Schaltung beeinträchtigen.

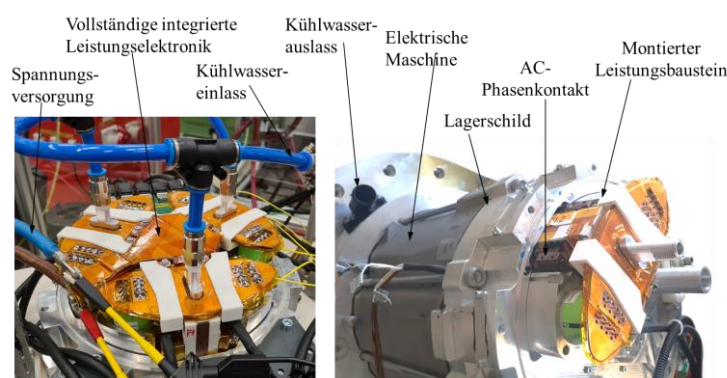
Wide-Bandgap-Materialien als Leistungshalbleiter in Traktionsantriebsumrichtern stellen eine effizientere und leistungsdichtere Alternative zu den herkömmlichen IGBT aus Silizium im Sperrspannungsbereich von 650 bis 1200 V dar. Abgesehen von einem verbesserten Durchlassverhalten können die Effizienzvorteile jedoch nur über die Ausnutzung der hohen Spannungsflankensteilheit erzielt werden. Die dadurch ermöglichten höheren Schaltfrequenzen sorgen für eine Volumenreduzierung der passiven Komponenten und somit ein leistungsdichteres Gesamtsystem. Für einen erfolgreichen Einsatz von Wide-Bandgap mit einer hohen Flankensteilheit ist jedoch die Beherrschung der parasitären Elemente von zentraler Bedeutung.



Beispiele für abgeleitete optimierte Systemkomponenten: a) Integrierter Folien-Zwischenkreiskondensator, b) Gate-Treiber Anbindung der SiC-MOSFETs und daraus abgeleiteter modularer Halbbrücken-Baustein

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Systemkomponenten und deren parasitäre Modellbildung diskutiert. Für die geplante Optimierung des Antriebsumrichters ist ein

umfassendes Verständnis für den Aufbau der Systemkomponenten und deren parasitären Elementen notwendig. Insbesondere bei den Zwischenkreiskondensatoren und den Leistungsmodulen wird dabei zunächst offengelegt, welche konstruktionsbedingten Parameter für die notwendige Optimierung der Komponente existieren. Diese sind aufbaubedingt und stark abhängig von den eingesetzten Aufbau-Technologien. Gleichzeitig wird die systematische Auslegung und parasitäre Optimierung jeder Systemkomponente unter Zuhilfenahme der zuvor diskutierten Konstruktionsparameter für den Leistungsteil des Antriebsumrichters und die Gate-Anbindung vorgenommen. Die Optimierungsschritte werden durch realisierte Funktionsmuster verifiziert und bilden die Grundlage für einen in dieser Arbeit untersuchten SiC-basierten Traktions-Antriebsumrichter in einem integrierten mechatronischen Ansatz. Die spezielle Ausführung wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes LaSiC (Laufzeit 2018 – 2022) umgesetzt (siehe Abb. 2).



Darstellung des vollständigen Versuchsträgers mit Kühlungsanschluss im Prüfstands Aufbau und integrierter Leistungsbaustein im offenen Kühlnest mit elektrischer Antriebsmaschine

Diese Arbeit soll einen Beitrag für integrierte Umrichter mit reduzierten parasitären Elementen liefern. Ziel ist die Analyse und gezielte Optimierung der parasitären Elemente in den Komponenten Leistungsmodul, Zwischenkreiskondensator, Zwischenkreis und Ansteuerpfad unter Berücksichtigung des Systemgedankens.

Herr Schnack hat am 9.12.2022 mit Erfolg seinen Promotionsvortrag gehalten und sich der abschließenden Prüfung unterzogen.

Zeit- und energieoptimierter Fahrbetrieb eines Elektrofahrzeugs mit Brennstoffzellen-Range-Extender im digital vernetzten Verkehr

*Dr.-Ing. Sören Scherler, Promotion am IMAB TU Braunschweig, 2022
betreut durch Prof. Markus Henke*

Die Individualmobilität mittels Pkw steht vor vielen grundsätzlichen Veränderungen: Zur Reduktion von Treibhausgasemissionen erfolgt der Wechsel von verbrennungsmotorischen zu rein batterie-elektrischen Antriebssträngen, woraus kundenseitig teilweise Bedenken bzgl. der Reichweite resultieren („Reichweitenangst“). Hinzu kommt, dass die zunehmende Automatisierung des Fahrbetriebs den Fahrer von seinen Fahraufgaben entbindet und zum Insassen degradiert. Die Effizienz des Fahrbetriebs wird zukünftig neben Möglichkeiten zur

Nutzung der Zeit im Fahrzeug (z. B. für Arbeit oder Unterhaltung) primär an der Fahrtdauer und den Energiekosten bemessen.

Eine Grundlage des automatisierten Fahrens ist die Digitalisierung von Verkehrsteilnehmern und -informationen sowie ihre Vernetzung durch drahtlose Kommunikationstechnologien zu vernetzten Verkehrssystemen, woraus neue Informationsquellen und somit auch Potentiale zur Optimierung des Fahrbetriebs resultieren. Vor dem Hintergrund dieser Veränderungen fokussiert die vorliegende Arbeit den zeit- und energieoptimierten Fahrbetrieb eines Elektrofahrzeugs mit Brennstoffzellen-Range-Extender im digital vernetzten Verkehr mit drei wesentlichen Optimierungspotentialen:

- 1. Zielführung: Welche Route ist zur Erfüllung der Fahraufgabe optimal?*
- 2. Bahnplanung: Welche Fahrzeugführung ist auf der gewählten Route zur Erfüllung der Fahraufgabe optimal?*
- 3. Energiemanagement: Welche Verteilung der zur Erfüllung der Fahraufgabe notwendigen Leistung auf Batterie und Brennstoffzelle ist optimal?*

Durch die Zielführung wird eine Route ermittelt, welche unter Berücksichtigung aller Fahrzeug-, Infrastruktur- und Umweltinformationen optimal bezüglich Fahrtdauer, Energieverbrauch sowie Lade- und Tankstopps ist. Diese Route gilt als globale Planung der Fahrt und wird durch die folgende Bahnplanung genutzt. Ziel der Bahnplanung ist die Trajektorienplanung zur Optimierung der Fahrzeugführung, ebenfalls unter Betrachtung der Zielgrößen Fahrtdauer und Energieverbrauch, für die gewählte Route und die Bestimmung von Sollgrößen zur Fahrzeugführung für die gesamte Fahrt. Diese Sollgrößen werden zur Prädiktion der notwendigen Antriebsleistung verwendet, welche wiederum die Grundlage für eine verlustminimierende Leistungsbereitstellung durch Batterie und Brennstoffzelle unter Berücksichtigung von Restriktionen durch Betriebsgrenzen oder vorhandene Energie darstellt

3.5 IMAB-Externe Aktivitäten

**CIPS - International Conference on Integrated Power Electronics Systems,
15 – 17th March 2022, in Berlin**

Vom 15. bis 17. März 2022 fand die 12. *International Conference on Integrated Power Electronics Systems* (CIPS) in Berlin statt. Die COVID19-Regelungen sahen ein hybrides Format vor. Die Möglichkeit zur Präsenzteilnahme wurde vor allem von Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Europa dankbar angenommen. Die Konferenz wird vom VDE-ETG-Fachbereich Leistungselektronik und dem European Center for Power Electronics e.V. (ECPE) veranstaltet. **Prof. Regine Mallwitz** übernimmt seit Jahren als Technical Chair wichtige Aufgaben bei der Programmerstellung und –durchführung mit ca. 100 eingereichten und eingeladenen Beiträgen aus der internationalen Fachwelt. Themen sind Bauelemente der Leistungselektronik, Aspekte von Gehäusen, deren Montage in mechatronischen Systemen, Zuverlässigkeit sowie elektromagnetische Verträglichkeit. Die Leistungselektronik hat sich zu

einem für die Umgestaltung der elektrischen Energieversorgung und Mobilität grundlegend relevanten Fachgebiet entwickelt. Die durch die CIPS adressierten Themen erhalten damit einen hohen Stellenwert.



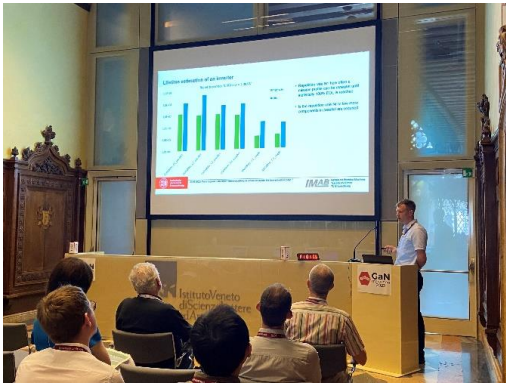
Hybride Session-Leitung

GaN Marathon Venedig, 20.-22.June, Venice

Organisiert von Prof. Matteo Meneghini, Uni. Padova, fand diese Veranstaltung in Venedig statt. Im Fokus standen GaN Bauelemente. Vorgestellt und diskutiert wurden Halbleiterelementestrukturen, deren Herstellung, Charakterisierung und Zuverlässigkeit sowie einige wichtige Anwendungen. Das IMAB beteiligte sich mit einem Beitrag zu Lebensdauerabschätzungen von GaN basierten High Speed Drives für Fuel Cell Applications. Vortragender war Florian Lippold. **Prof. Regine Mallwitz** und Florian Lippold konnten durch diesen intensiven Austausch mit dem fachkundigen Publikum viele Anregungen mitnehmen.



Internationaler Austausch zu GaN Bauelementen im Palazzo Cavalli-Franchetti



EPE-ECCE Conference 2022, 5 to 9th September 2022, in Hanover, Germany

Prof. Regine Mallwitz ist Mitglied der European Power Electronics (EPS) Association und auch hier an der Ausgestaltung der jährlich stattfindenden European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)_Konferenz prägend beteiligt. Bei dieser Tagung handelt es sich um die umfassendste Fachkonferenz zur Leistungselektronik. Das Jahr 2022 war ein besonderes. Die European Conference on Power Electronics and Applications (EPE – ECCE Europe), die größte europäische Leistungselektronik-Konferenz, fand vom 05. bis 09. September 2022 in Hannover statt. Diese Konferenz bietet eine Austausch-Plattform zwischen Leistungselektronikspezialisten aus Industrie, Instituten und Hochschulen zu den Schwerpunkten leistungselektronische Systeme und Komponenten. Der VDE-ETG-Fachbereich Leistungselektronik und damit auch Prof. Regine Mallwitz unterstützte bei dieser „Heim“-EPE in der Vorbereitung sowie Durchführung der Konferenz. Schwerpunktthemen lagen u.a. auf Systemen zur Elektrifizierung der Luftfahrt. Prof. Mallwitz organisierte und moderierte in der Keynote-Session sowie einer Forumsdiskussion und organisierte einen Besuch am DLR Braunschweig zu diesem Thema.



Moderation der Keynote Session



Moderation einer Forumsdiskussion, gemeinsam mit Prof. Möhlenkamp, BTU Cottbus

VDE ETG – Tagung „Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen“, 21 - 22 June 2023, in Bad Nauheim, Germany

Prof. Mallwitz ist seit 2018 Vorsitzende des Fachbereichs Q1 „Leistungselektronik und Systemintegration“ in der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) des VDE und Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der ETG. Beide Gremien gestalten regelmäßig Veranstaltungen, um Experten zusammenzubringen und zur Diskussion anregen.

Die VDE ETG - Tagung „Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen“ wird alle 5 Jahre vom VDE-ETG-Fachbereich Q1 „Leistungselektronik und Systemintegration“ organisiert und hat durch ausschließlich eingeladene Beiträge einen besonderen Charakter. Die als Überblick angelegten Beiträge informieren über die aktuellen Entwicklungsstände und die kommenden Innovationen bei den Bauelementen der Leistungselektronik und ihren aktuellen Anwendungen. Die Tagungsleitung lag in diesem Jahr bei Prof. Regine Mallwitz und ihrem Stellvertreter Prof. Klaus Hoffmann, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg. Die Tagung war mit 20 Beiträgen und ca. 90 Teilnehmern, die rege diskutierten, ein großer Erfolg.



Prof. Regine Mallwitz mit Prof. Klaus Hoffmann

Am ersten Tag der Tagung standen die aktiven und die passiven Bauelementen der Leistungselektronik im Fokus. Die rasante Entwicklung bei den Leistungshalbleitern macht zunehmend Effizienzsteigerungen in den Anwendungen möglich. Dies zeigte sich in den Beiträgen am zweiten Tag, die sich mit den aktuellen Leistungselektroniksystemen beschäftigten. Einmal wurde deutlich, dass Leistungselektronik ein Schlüsselement für die Energie- und Mobilitätswende ist.

Power Electronics for Aerospace Applications' Propulsion (PEASA' 23), Workshop of IEEE-PELS-TC11 (Committee on Aerospace Power), 18 - 19th July 2023, in Nottingham, UK

Nachhaltiges Fliegen führt zu einem höheren Elektrifizierungsgrad von Aggregaten in Flugzeugen bis hin zu elektrifizierten Flugantrieben. Prof. Regine Mallwitz übernahm auf Einladung von Prof. Bülent Sarlioglu den Beitrag „Aspects of future avionic power electronics“ und berichtete über die Aktivitäten im Exzellenzcluster SE2A sowie am IMAB. Neben ihr nahmen Prof. Nazmiye Balta-Ozkan, Cranfield University, und Prof. Xiaze Pei, University of Bath an der Special Session on Decarbonization Efforts for Electrification of Future Aircraft including Electric Propulsion und der anschließenden Panel Diskussion teil. Dr. Tao Yang, University Nottingham, hatte eine hervorragende Veranstaltung organisiert.



Vortragende und Organisatoren PEASA2023



Laborbesuch an der University Nottingham

IFEC – IEEE International Future Energy Challenge – Finals, 26 - 27 July 2023, in Hannover

IFEC steht für International Future Energy Challenge. Diese wird seit 2003 vom IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers veranstaltet. Dies ist ein Wettbewerb für Studierende aus aller Welt, die sich noch ihrer Hochschulausbildung befinden. Die Studierenden erarbeiten im Team eine funktionsfähige Leistungselektronik. Im Jahr 2023 war ein Solid State Transformer (SST) zu entwerfen, aufzubauen und Funktionstests zu unterziehen. Das Finale fand in Hannover statt. Die Jury, zu der Prof. Regine Mallwitz gehörte, kürte mehrere Preisträger. Das Team von der Utah University gewann einen Preis für die beste Teamarbeit.



ECPE Network Meeting “Sustainable in Power Electronics and 20 Years ECPE Anniversary”, 4 – 5 October 2023, Toulouse, France

Die TU Braunschweig und damit auch das IMAB sind auf Initiative von Prof. Mallwitz seit 2015 Mitglied im European Center for Power Electronics e.V. (ECPE). Diese international agierende Vereinigung -gegründet in 2003- ist das führende Forschungs-Netzwerk in der Leistungselektronik und vereint Industrie und Akademie. Zur Zeit sind in der ECPE mehr als 200 Mitglieder (Unternehmen, Universitäten, Forschungseinrichtungen etc.) vertreten.

Für die künftigen, von Nachhaltigkeit geprägten elektrischen Energie- und Mobilitätssysteme spielt Leistungselektronik eine Schlüsselrolle. Zwischen und in den Netzebenen des elektrischen Energienetzes sowie zwischen den Energiequellen – Netz, Batterie, Brennstoffzelle etc. - und Verbraucher – Industrieprozess, Fahrzeugbatterie, Haushaltsgerät etc. - befindet sich immer ein leistungselektronischer Wandler. Aber wie nachhaltig sind diese Wandler selbst? Dieser Frage geht Leistungselektronik-Professorin Regine Mallwitz, TU Braunschweig, gemeinsam mit Prof. Christine Minke – Expertin für Kreislaufwirtschaft an der TU Clausthal - nach. Beide präsentierten am 4.10.2023 ihre aktuellsten Ergebnisse auf dem internationalen „Network Meeting Sustainability in Power Electronics“ der ECPE – European Competence Center for Power Electronics – in Toulouse und freuen sich auf intensive Diskussionen mit den internationalen Experten sowie ihre weiteren Forschungsvorhaben. Nachhaltigkeit ist auch ein Thema für die Leistungselektronik.



Prof. Dr. Christine Minke (TU Clausthal), Prof. Dr. Leo Lorenz (Präsident ECPE e.V.), Prof. Regine Mallwitz (TU Braunschweig), Thomas Harder (Geschäftsführer ECPE e.V.) beim ECPE Network Meeting in Toulouse

Symposium HEV- Hybrid and Electric Vehicles

Auch in 2022 fand in Gifhorn das Symposium HEV- Hybrid and Electric Vehicles unter der Tagungsleitung von Prof. Henke statt. In zahlreichen Beiträgen aus der Automobil- und Zulieferindustrie werden alljährlich Themen zum elektrifizierten Antriebsstrang in PKW, LKW und mobilen Arbeitsmaschinen präsentiert und diskutiert. Unterstützt wird dieses sehr anwendungsnahe Symposium maßgeblich von IAV und ITS mobility.



Teilnehmer des Symposium HEV- Hybrid and Electric Vehicles in Gifhorn und Vortrag von T.-H. Dietrich zur induktiven Ladetechnik

4 Lehre

Die Vorlesungen des IMAB beinhalten theoretisches Grundlagenwissen zu allen Komponenten und Systemen im elektrischen Antrieb, gepaart mit praktischen Anwendungsbeispielen aus Industrie und Forschung und sind in zahlreiche Studiengänge der TU Braunschweig eingebunden. In den Praktika werden die vermittelten Inhalte anhand von exemplarischen Hardwareaufbauten und Prüfstandsversuchen unter praktischen Gesichtspunkten behandelt.

Nach der pandemie-bedingten Umstellung auf Online-Formate konnte bei der Durchführung der Lehre in 2022/2023 wieder auf Präsenzveranstaltungen zurückgewechselt werden.

Eine neue Lehrveranstaltung am IMAB ist die erstmals im Sommersemester 2023 durchgeführte Vorlesung „Elektromobilität“. Sie richtet sich an Studierende des neu eingerichteten Bachelorstudiengangs „Nachhaltige Energiesysteme und Elektromobilität“ (NEEMO).

4.1 Vorlesungen und Praktika

Am IMAB wird in zahlreichen Vorlesungen und Praktika Grundlagenwissen zur elektro-mechanischen Energiewandlung vermittelt. Die Vorlesungsinhalte sind dabei eng verzahnt mit aktuellen Forschungsthemen und die am IMAB stattfindenden Praktika geben einen fundierten Einblick in die anwendungsorientierte Forschung des Instituts.

| | Vorlesungstitel | DozentIn | Semester |
|-----------------|---|-------------------------------|----------|
| Bachelor | Grundlagen der elektrischen Energietechnik | Prof. Henke Prof. Mallwitz | SS |
| | Elektrische Grundlagen der Energietechnik für das Verkehrs- und Umweltingenieurwesen | Prof. Henke | WS |
| | Elektrische Antriebe | Prof. Henke | WS |
| | Grundsaltungen der Leistungselektronik | Prof. Mallwitz | WS |
| | Elektrotechnik II für Maschinenbau | Prof. Mallwitz | SS |
| | Elektromobilität | Dr. Langmaack | SS |
| Master | Modul „El. Antriebe für den spurgebundenen Verkehr“: - Elektrische Antriebe für Schienenfahrzeuge | Prof. Henke | SS |
| | Drehstromantriebe und deren Simulation | Prof. Henke | SS |
| | Entwurf elektrischer Maschinen | Prof. Henke | WS |
| | Modul „Elektrische Antriebe für Straßenfahrzeuge“: - Elektrische Fahrzeugantriebe - Antriebskonzepte für Elektromobilität | Prof. Henke | WS |
| | Regelung in der elektrischen Antriebstechnik | Prof. Henke | WS |
| | Angewandte Leistungselektronik | Prof. Mallwitz | SS |
| | Erweiterte Leistungselektronik | Prof. Mallwitz | WS |

| Praktika | Durchführung | Semester |
|---------------------------------|--|----------|
| Praktikum Leistungselektronik | Rohn, Hauenschild, Fricke, Lippold, Keilmann | WS |
| Praktikum Elektrische Maschinen | Anspach, Asgari, Balasubramanian, Dietrich, Marks | WS |
| Antriebssysteme für E-Fahrzeuge | Radomsky, Klintz, Keilmann, Marks, Balasubramanian, Sharaf, Asgari | SS |
| Labor Master Elektromobilität | Franzki, Fischer, Balasubramanian | WS |

Lehrveranstaltungen für Bachelorstudiengänge

Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Die Grundlagenvorlesung für Bachelor im vierten Semester bietet den Studierenden im Sommersemester eine Übersicht der Energietechnik und behandelt neben den Bereichen der Energieübertragung und der elektrischen Antriebe auch den Bereich der Leistungselektronik. Der Teil ‚Grundlagen der elektromechanischen Energieumformung‘ wird von Prof. Henke gelesen und behandelt grundlegende Wirkzusammenhänge der elektromechanischen Energiewandlung in elektrischen Maschinen. Der Abschnitt ‚Grundlagen der Leistungselektronik‘ wird von Prof. Mallwitz gelesen und führt die Studierenden an die Bauelemente, die Anwendungsgebiete und die grundlegenden Schaltungskonzepte der Leistungselektronik heran. Da diese Vorlesung noch vor der Vertiefung der Studierenden in die einzelnen Richtungen gehalten wird, stellt sie eine gute Möglichkeit dar, bei den Studierenden das Interesse für den Besuch weiterführender Vorlesungen zu wecken.

Elektrische Antriebe

In dieser Veranstaltung werden den Studierenden grundsätzliche Zusammenhänge über die Kraftbildung in Elektromagnetischen Systemen aufgezeigt. Auf dieser Basis werden im Weiteren alle relevanten Typen von Elektroantrieben und deren Funktionsweise erläutert. Dazu gehören Gleichstrom-, Asynchron- und Synchronmaschine. Dabei wird auch zwischen rotatorischen und translatorischen Motoren unterschieden und die entsprechende mechanische Umsetzung aufgezeigt. Die Veranstaltung befasst sich darüber hinaus mit der Wirkungsgradoptimierung solcher Maschinen. Dazu gehört das Arbeiten und Verstehen von Wirkungsgradkennfeldern und damit verbundene Rückschlüsse über die Einsatzmöglichkeiten der Antriebe und deren Optimierungspotenzial. Auf der anderen Seite werden verschiedenste Ansätze für die Entwicklung von E-Antrieben erläutert, von der groben Variation geometrischer Aspekte bis hin zur Nutzung von Finite-Elemente-Software zur detaillierten Simulation. Natürlich spielen auch die verschiedenen Betriebsarten der E-Maschinen eine wichtige Rolle, ob einfach am Drehstromnetz oder mit einem Frequenzumrichter betrieben. Für beide Alternativen wird das notwendige Wissen über Art und Weise der einzuprägenden Klemmengrößen vermittelt, um E-Antriebe effizient zu betreiben.

Grundsaltungen der Leistungselektronik

Die Veranstaltung „Grundsaltungen der Leistungselektronik“ findet regelmäßig im Wintersemester statt. Sie richtet sich an Studierende der Elektrotechnik im Bachelorstudium und schließt inhaltlich an die Vorlesung „Grundlagen der elektrischen Energietechnik – Teil 3“ an. Behandelt werden Grundsaltungen wie Gleichstromsteller und Topologien von DC/DC-Wandlern. Des Weiteren werden die Eigenschaften und das Verhalten von aktiven und passiven leistungselektronischen Komponenten eingehend betrachtet. Notwendige Peripherie wie Messstellen und Treiberschaltungen werden ebenfalls thematisiert.

Elektrische Grundlagen der Energietechnik für das Verkehrs- und Umweltingenieurwesen

In dieser Vorlesung erhalten die Studierenden der Umwelttechnik zunächst eine Einführung in die elektrotechnischen Grundlagen und die Grundlagen der elektrischen Energieversorgung (Vorlesungsteil elenia). Anschließend folgt der dritte Vorlesungsteil von Prof. Henke, in dem die Grundlagen der elektromechanischen Energieumformung vermittelt werden. Der Aufbau und die physikalische Funktionsweise von marktüblichen elektrischen Antrieben werden behandelt und es werden grundlegende mathematische Beschreibungsmöglichkeiten der Antriebssysteme erarbeitet. Dies soll die Studierenden im Verkehrs- und Umweltingenieurwesen in die Lage versetzen, Antriebssysteme in der Praxis einschätzen und anwenden zu können. Ergänzt wird die Vorlesung durch das Seminar ‚Technikfolgenbewertung‘, das die Themen Umwelt und Nachhaltigkeit mit der Energietechnik verknüpft und auf der systematischen Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Technologien auf die Gesellschaft basiert.

Elektrotechnik II für Maschinenbau

Diese Vorlesung im Sommersemester richtet sich an Studierende des Maschinenbaus im Bachelorstudium und schließt inhaltlich an die Vorlesung Elektrotechnik I für Maschinenbau an. Basierend auf den dort vermittelten grundlegenden Kenntnissen bezüglich elektro- bzw. magnetostatischer Größen, werden in dieser Vorlesung von Prof. Mallwitz zunächst zeitlich veränderliche Vorgänge in elektrischen Netzwerken behandelt. Mit deren Kenntnis werden dann anschließend die Themengebiete "Drehstromsysteme", "Elektrische Maschinen" und "Leistungselektronik" näher betrachtet.

Elektromobilität

Diese erstmals im Sommersemester 2023 durchgeführte Veranstaltung richtet sich an Studierende des neu eingerichteten Bachelorstudiengangs „Nachhaltige Energiesysteme und Elektromobilität“ (NEEMO). In dieser Veranstaltung werden grundlegende Kenntnisse zu Ladeinfrastrukturen und elektrifizierten Fahrzeugkonzepten vermittelt. Ausgehend von klassischen fahrzeugtechnischen Aspekten werden die wesentlichen Strukturen von in Fahrzeugen verwendeten elektrischen Maschinen und Umrichtern dargestellt. Ausgehend von Fahrwiderständen, Energieverbräuchen und Verlustbetrachtungen sind die Studierenden in der Lage, für die Ladeinfrastruktur, für Ladegeräte und für die vorgestellten Komponenten im

Bordnetz einfache Auslegungen vorzunehmen. Hierzu wird die Interpretation von Komponentenkenefeldern und deren Integration in Gesamtmodelle vermittelt. Die Studierenden kennen Aufbau, Funktionsweise und Randbedingungen von Elektrofahrzeugen sowie die grundlegenden physikalischen Größen und Konzepte. Sie können die Konzepte (insbesondere hybride Antriebsstrangkonzeppte, Fahrzeugkonzepte, elektrische Maschinen, leistungselektronische Grundkomponenten) auf unterschiedliche grundlegende Problemstellungen im Antriebsstrang mobiler Fahrzeuge und auf Nebenverbraucher anwenden und geeignete Lösungsverfahren angeben. Abschließend werden aktuelle Forschungsthemen auf die Lerninhalte reflektiert, um den aktuellen Technologiestand aufzuzeigen.

Lehrveranstaltungen für Masterstudiengänge

Angewandte Leistungselektronik

Die Mastervorlesung „Angewandte Leistungselektronik“ findet immer im Sommersemester statt und schließt an die Bachelorvorlesung „Grundsaltungen der Leistungselektronik“ an.

In der Vorlesung erlangen die Studierenden Wissen über gesetzliche Vorgaben bezüglich Elektromagnetischer Verträglichkeit. Sie lernen Aufbau, Funktion, Anwendung und Auslegung von passiven und aktiven Filterschaltungen kennen. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist es, einen möglichst sinusförmigen Netzstrom in Phase mit der Netzspannung mit Hilfe sogenannter Power Factor-Correction (PFC) zu erhalten. Die Studierenden sollen die Funktionsweise und die Anwendung von Resonanz-Stromrichtern und Quasi-Resonanzschaltungen - auch anhand von Simulationen - verstehen. Abschließend sollen sie den Aufbau und die Funktionsweise von Multi-Level-Umrichtern nachvollziehen können. Mit Hilfe der Vorlesung sollen die Studierenden in der Lage sein, entsprechende Baugruppen konzeptuell zu entwerfen, zu dimensionieren und -auch per Simulation- zu analysieren.

Drehstromantriebe und deren Simulation

Die Mastervorlesung „Drehstromantriebe und deren Simulation“ von Prof. Henke findet im Sommersemester statt und vermittelt Kenntnisse zur Modellbildung und Simulation der Komponenten in elektrischen Antriebssystemen. Das Antriebssystem wird zu diesem Zweck für unterschiedliche Lasten und Lastverhalten projiziert und eine Simulation der Komponenten inklusive der elektrischen Maschine und der zugehörigen Leistungselektronik vorgestellt. Dabei werden auch die Ansteuerverfahren und die Regelung näher beleuchtet. Die Betrachtung von Verlustmechanismen und thermische Modellbildung runden die Vorlesung ab. Die in der Vorlesung erarbeiteten Modelle werden den Studierenden zur Verfügung gestellt, um im Rahmen der Übung eigene Simulationen durchführen zu können.

Elektrische Antriebe für den spurgebundenen Verkehr

Dieses Modul beinhaltet die Vorlesung „Elektrische Antriebe für Schienenfahrzeuge“. In dieser Veranstaltung werden den Studierenden von Prof. Henke ausführliche Inhalte rund um das

Thema elektrische Antriebstechnik im Schienenverkehr vermittelt, wobei das Hauptaugenmerk auf Antriebskonzepten im Bereich Personenverkehr liegt. Dazu gehören auch die Anforderungen, die an moderne Züge gestellt werden, worauf sich die Dimensionierung eines elektrischen Antriebs für Personen-, Güter-, und Hochgeschwindigkeitszüge aufbauen lässt. Daneben werden auch gegenwärtige und innovative Antriebskonzepte für Stadt- und Fernverkehr beleuchtet. Dazu gehören u.a. die Linear- und Schwebetechnik. Diese Vorlesung zielt verstärkt auf eine Vertiefung der Kenntnisse im Bereich der Komponenten ab und vermittelt detaillierte Kenntnisse in den Bereichen Antriebsmaschinen und Leistungselektronik für die Bahntraktion.

Elektrische Antriebe für Straßenfahrzeuge

Dieses Modul beinhaltet die beiden Vorlesungen „Antriebskonzepte für Elektromobilität“ und „Elektrische Fahrzeugantriebe“.

Die Vorlesung „Antriebskonzepte für Elektromobilität“ wird von Dr. Böhm (Volkswagen AG) und die Vorlesung „Elektrische Fahrzeugantriebe“ von Prof. Henke gehalten. Den Studierenden werden ausführliche Inhalte rund um das Thema elektrische Antriebstechnik in mobilen Fahrzeugen vermittelt, wobei das Hauptaugenmerk auf Antriebskonzepten im Bereich PKW/Nutzfahrzeuge liegt. Die Inhalte dieser Veranstaltung umfassen verschiedene Aspekte, dazu gehören die Anforderungen, die an die Elektro- und Hybridfahrzeuge der Gegenwart und Zukunft gestellt werden. Darauf baut die Dimensionierung elektrischer Antriebsstränge von der Energiequelle bis zur Last auf. Daneben werden auch Hybridantriebe und grundlegende Kenntnisse der Verbrennungskraftmaschine behandelt. Ebenso wird detailliert auf die elektrischen Maschinen in hybriden Antriebstopologien und auf Brennstoffzellenantriebe eingegangen. Der zweite Teil der Veranstaltung zielt auf die Vertiefung der Kenntnisse im Bereich der Komponenten und vermittelt detaillierte Kenntnisse im Bereich Energiespeicher, elektrischer Antrieb und Energiemanagement für mobile Antriebe.

Entwurf elektrischer Maschinen

Die Studierenden lernen in dieser Vorlesung von Prof. Henke den Entwurfsprozess elektrischer Maschinen kennen. Neben den Grundlagen der Drehmomentbildung stehen sowohl wichtige Spezifikationsgrößen als auch der konkrete Maschinenentwurf im Vordergrund. Hierbei findet ausgehend vom systematischen Wicklungsentwurf die Wicklungsauslegung statt und es schließt sich eine elektromagnetische Gesamtauslegung unter Nutzung von numerischer Feldberechnung an. Ebenso werden Verluste und daraus resultierende thermische Einflüsse detailliert betrachtet.

Regelung in der elektrischen Antriebstechnik

Die Vorlesung „Regelung in der elektrischen Antriebstechnik“ wird von Prof. Markus Henke gehalten und vermittelt den Studierenden Inhalte zur Modellbildung von Gleichstrom- und Drehfeldmaschinen, zur Auswahl geeigneter Reglerstrukturen für typische Antriebssysteme

sowie zur systematischen Auslegung der jeweiligen Reglerparameter. Ergänzend werden Aspekte aus den Bereichen Sensorik und Leistungselektronik thematisiert. In der Übung zur Lehrveranstaltung werden die Inhalte anhand typischer Prüfungsaufgaben und beispielhafter Simulationen gefestigt.

Erweiterte Leistungselektronik

In der Mastervorlesung „Erweiterte Leistungselektronik“ von Professorin Mallwitz werden den Studierenden leistungselektronische Systeme als der Verbund aus den zuvor in den Grundlagen erlernten Einzelbaugruppen und Schaltungstopologien nähergebracht.

Neben der Vermittlung von theoretischen Konzepten liegt der Fokus auch auf Systemen der Leistungselektronik mit einem realen Anwendungszweck, beispielsweise für PV-Anlagen, Windenergieanlagen oder auch Fahrzeugantrieben. Dabei wird in der Veranstaltung immer wieder die Frage nach den Anforderungen an die Leistungselektronik für den konkreten Anwendungsfall gestellt.

Praktika am IMAB, basierend auf den Lehrveranstaltungen

Praktikum Leistungselektronik

Im Praktikum Leistungselektronik werden verschiedene Themen der Leistungselektronik, insbesondere für die Antriebstechnik, unter praktischen Gesichtspunkten behandelt. Zu den Themen gehören die Simulation und Auslegung leistungselektronischer Schaltungen wie Gleichstromsteller und Wechselrichter, die Behandlung typischer Peripherie wie Messstellen für Ströme und Spannungen oder Treiberschaltungen für Leistungshalbleiter, Grundlagen der Regelungstechnik für elektrische Antriebe sowie die Programmierung eines Demonstrationswechselrichters für einen Kleinantrieb.

Praktikum Elektrische Maschinen

Im Praktikum Elektrische Maschinen werden die wichtigsten elektrischen Maschinen unter praktischen Gesichtspunkten behandelt. Zunächst werden Funktionsweise, Schaltungsarten und Anwendung der Gleichstrommaschine untersucht. Anschließend werden die Asynchronmaschine und die Synchronmaschine als klassische Vertreter der Drehfeldmaschinen betrachtet. Das prinzipielle Betriebsverhalten wird zunächst für Netzspeisung analysiert, um dann am Beispiel der wechselrichtergespeisten Asynchronmaschine die Möglichkeiten der Drehzahlregelung mittels moderner Leistungselektronik kennenzulernen. Abschließend wird der praxisnahe Einsatz von modernen Drehfeldmaschinen auch am Beispiel von Linearantrieben für Werkzeugmaschinen behandelt.

Antriebssysteme für Elektrofahrzeuge

In dieser Veranstaltung werden den Studierenden ausführliche praktische Inhalte rund um das Thema elektrische Antriebstechnik im Straßenverkehr vermittelt. Den Studenten wird ein

vertiefter Einblick in das Gesamtsystem „Elektrofahrzeug“ und ein Kennenlernen aller wichtigen Komponenten des Antriebsstrangs ermöglicht. Hierfür wird von den Studierenden mit Hilfe der Simulationssoftware SIMULINK ein Gesamtfahrzeugmodell, welches ein Elektrofahrzeug abbildet, erstellt und parametrisiert. In Kolloquien werden alle wichtigen Informationen über die Einzelkomponenten des Fahrzeugs besprochen und diskutiert.

Labor zum Masterstudiengang Elektromobilität

Das Praktikum "Elektromobilität" für Studierende des gleichnamigen Masterstudiengangs wird von fünf Instituten gestaltet. In diesem Praktikum werden zum einen die Grundlagen in den Bereichen Batterieforschung und -produktion, Antriebe, leistungselektronische Systeme, elektrische Energieversorgung sowie Fahrodynamik behandelt und zum anderen in praktischen Versuchen exemplarisch vertieft. Der vom IMAB gestaltete Teil ist den elektrischen Maschinen und leistungselektronischen Systemen im Fahrzeug gewidmet. Daneben gibt es noch Beiträge der anderen Institute in Form von Fertigung einer Labor-Batteriezelle, Messungen an Batteriemodulen, Hochvoltbordnetz und Ladesäulen sowie Versuchen im Bereich Längs-, Quer- und Vertikaldynamik eines Fahrzeugs.

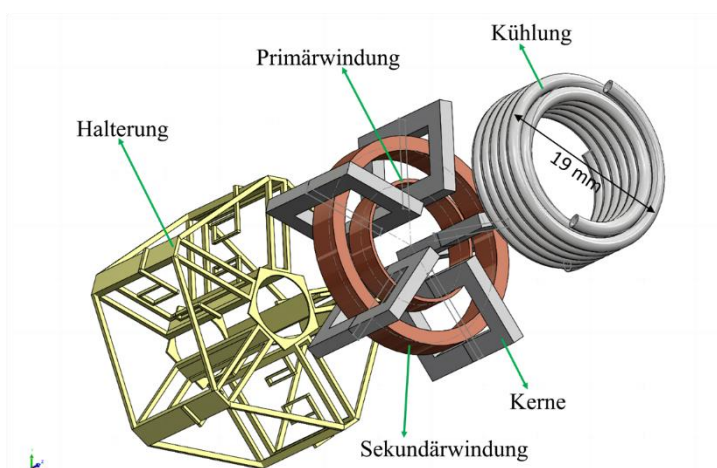
IMAB Teamprojekte

M.Sc.Hendrik Schefer

Ein Teamprojekt kann ein Industriepraktikum substituieren. Am IMAB können Studierende in kleinen Teams Projekte durchführen, in denen die praktische Erfahrung im Vordergrund steht und die Studierenden ihr theoretisch erlerntes Wissen anwenden können. Neben der fachlichen Projektarbeit sind die Studierenden auch für die Projektplanung und Koordination untereinander verantwortlich. So können unter anderem agile Projektmanagementmethoden erlernt und direkt umgesetzt werden.

Im Teamprojekt „Konstruktive Studie der Leistungsdichteabschätzung einer Dual Active Bridge (DAB) zur Integration von elektro-chemischen Quellen in ein elektrifiziertes Flugzeug (AEA)“

wurde eine skalierte Variante einer Dual Active Bridge virtuell in einem CAD-Tool konstruiert. Mit diesem skalierten Modell sollte das erforderliche analytische Modell zur Leistungsdichteabschätzung im Rahmen von „SE²A-Sustainable and Energy-Efficient Aviation“ praxisnah verifiziert werden. Die Studierenden besaßen viele Freiheiten, um sich selbst und als Projekt zu organisieren.



Es wurden ausschließlich Randbedingungen und Zielgrößen vom Betreuer vorgegeben.

In dem Projekt fanden sich drei Studierende zusammen, welche in einem kooperativen Entwurfsprozess eine konkrete Konstruktion der DAB erstellten. Das analytische Leistungsdichtemodell aus SE²A wurde mit der konstruktiven Studie verglichen.

Die Untersuchung verdeutlichte, dass analytische Modelle die Leistungsdichte stark überschätzen im Vergleich zu einer CAD-basierten konstruktiven Studie, welche einer realen Konstruktionsidee folgt.

Im besonderen Maße konnten gewinnenbringende Eigenschaften eines Matrix-Transformators mit definierter Streuung (zur Leistungsübertragung der DAB) sowie Wicklungskühlung untersucht werden.

4.2 Exkursionen in 2022 und 2023

M.Sc. Hendrik Schefer

Die IMAB Career Days 2022

Im Jahr 2022 besuchten wir lokale Unternehmen (Ihlemann GmbH und Bertrandt AG) im Raum Braunschweig, weil noch die Einschränkungen der Corona-Pandemie im Planungsprozess galten. Die Teilnehmerzahl musste ebenfalls beschränkt werden.

Am Dienstag besuchten wir den Platinenbestücker Ihlemann GmbH in Nähe des Braunschweiger Hafens. Die Studierenden konnten Erkenntnisse gewinnen über die unterschiedlichen Bestück- und Lötprozesse, die in der Industrie verwendet werden.

Darüber hinaus konnten wir in einem digitalen Format am Mittwoch ebenfalls einen Einblick in die Arbeit einer Abschlussarbeiterin (Johanna Anspach) am IMAB geben. Anschließend wurde das Tätigkeitsfeld eines wissenschaftlichen Mitarbeiters (Dirk Ferch) dargestellt. Das digitale Format bot ebenfalls einen Einblick in die Industrieunternehmen „Danfoss GmbH“ und „Vorwerk SE & Co. KG“.

Danfoss bot Informationen für die interessierten Studierenden der Leistungselektronik und Vorwerk für die der E-Maschinen. Das digitale Format wurde durch den Beitrag von Prof. Frank Hinrichsen abgerundet, welcher einen Einblick in seinen Karriereweg gab. Er verdeutlichte seinen Weg von einem Studierenden der TU Braunschweig zu einem Professor der Hochschule Flensburg.

Am Donnerstag konnten wir die Bertrandt AG und deren beeindruckende Prüfstandswelt für alternative Antriebssysteme begutachten. Bertrandt besitzt für verschiedene Antriebsleistungen verschiedene Prüfstände. Darüber hinaus präsentierte Bertrandt auch individualisierte selbst-entwickelte Prüfstände für verschiedenste Fragestellungen.

Exkursion 2023

Im Jahr 2023 wurde die Förderung von Exkursionen deutlich durch Studienqualitätsmittel erschwert. Da wir als IMAB jedoch Industriekontakte für Studierende als wichtiges Element des Studiums sehen, finanzierte das IMAB eine lokale Exkursion zu zwei Unternehmen (Piller Power Systems und VEM Motors) mit einem anschließenden Grillevent am IMAB.

Das Produktportfolio und die Innovationen von Piller Power Systems waren beeindruckend. Die IngenieurInnen präsentierten uns das umfangreiche Tätigkeitsfeld einer MitarbeiterIn bei Piller. Darüber hinaus konnte die Produktion intensiv begutachtet werden.

Bei der VEM Motors konnte die Produktion von Sondermaschinen mit höherer Stückzahl und das Prüffeld der E-Maschinen angeschaut werden. Besonders der Wuchtprozess im großen industriellen Maßstab war sehr interessant. Den Tag ließen wir mit den Studierenden am Abend ausklingen. Bei einem gemütlichen Grillabend konnten die Studierenden das Institut und die MitarbeiterInnen näher kennenlernen. Der Abend bot einen ungezwungenen Austausch zwischen Studierenden und Mitarbeitenden.



Exkursion und anschließendes ‚Rampengrillen‘ am IMAB

Besuch der Gläsernen Manufaktur in Dresden 30. Mai 2023

Im Rahmen der Vorlesung Elektromobilität fand eine Exkursion zur Gläsernen Manufaktur in Dresden statt, einer Produktionsstätte der Volkswagen AG. Dr. Niklas Langmaack und Johanna Anspach reisten mit siebzehn Studierenden des Bachelorstudiengangs Nachhaltige Energiesysteme und Elektromobilität nach Dresden. Eine geführte Besichtigung der Gläsernen Manufaktur ermöglichte es der Gruppe spannende Einblicke in die Fertigungslinie des iD.3 zu erlangen und so erlernte Inhalte der Vorlesung in der Praxis nachzuvollziehen.



Gruppenbild in der Gläsernen Manufaktur

4.3 Studentische Arbeiten am Institut

Am IMAB fanden im Laufe der Jahre zahlreiche studentische Arbeiten zu Themen statt, die direkt in Forschungsgebiete am IMAB eingebunden sind oder aber auch interessante Randthemen betreffen. Einige Arbeiten konnten zu Veröffentlichungen geführt und auf wissenschaftlichen Tagungen präsentiert werden.

Bachelorarbeiten

| | |
|---------------------|---|
| Shangbo Han | Development of Simulation Models of Multilevel Inverter Topologies for Use in Hybrid-Electric Aviation |
| Timo Aschenbrenner | Development of Script-Based Extraction and Visualization Methodologies for Components in Power Electronics |
| Julian Garthoff | Konzeptionierung und Aufbau eines mobilen externen Ladegeräts für eine elektrifizierte Piaggio Ape 50 |
| Daiyi Hu | Konstruktive Studie zur Entwärmung von Modulen für die Betrachtung der Alterung aktiver Komponenten |
| Nataliya Belichenko | Erkennung der Degradation von Bauelementen im Tief- und Hochsetzsteller mittels Signalanalysen im Zeit- und Frequenzbereich - eine Machbarkeitsstudie |
| Fadi Aouadi | Detection of the Degradation of Components in Basic Power Electronic Circuits using Machine Learning |
| Timo Heinke | Analyse der Fertigungsprozesskette einer bestehenden Rotorfertigung für elektrische Antriebe zur Optimierung der Fertigungs- und Produktqualität |
| Erkan Dadevski | Vergleich von Zählalgorithmen zur Analyse von Temperaturhüben von Leistungshalbleitern |
| Sergiy Voznyuk | Untersuchung und Bewertung des 3-Level ANPC-Wechselrichter |
| Nader Alhaj Hussein | Analytische Erarbeitung einer Berechnungsgrundlage für die 50-Hz-Kabelplanung digitaler Stellwerke |
| Sleman Mouammar | Investigation, analysis and comparison of high-performance on-board grids |
| Oussama Hnia | Untersuchungen an einem Umrichter zur Erzeugung von Wechselströmen bis 500 A |
| Gregor Haese | Entwicklung eines 48-V-Wechselrichters für ein hybrid-elektrisches Lastenfahrrad |

| | |
|-------------------------|--|
| Aziz Kechaou | Einsatz von Powerline-Kommunikation auf Basis des Green-PHY-Standards in 48-V-Fahrzeuggordnetzen |
| Jorge Topp | Integration eines SiC-Hochsetzstellers in ein Forschungsfahrzeug |
| Idoya Fernández | Design of a battery system for a hybrid electrical cargo bike |
| Mohamad Suraqa Aljabali | Entwicklung eines 48-V-Wechselrichters für Prüfstandsanwendungen |
| Kamyab Moayedi | Entwicklung einer Telemetrie-Einheit für das Lehr- und Forschungsfahrzeug „IMAB-Racer“ |
| Meike Hastedt | Entwicklung eines Batteriemagementsystems mit integrierter NV-Bordnetzversorgung |
| Chiheb Ben Abbes | Untersuchung und Optimierung magnetischer Bauelemente mit dem Schwerpunkt gekoppelter Induktivitäten zum Einsatz in schnellschaltenden zweiphasigen Synchronwandlern |

Masterarbeiten

| | |
|-------------------|---|
| Jonathan Borchers | Datengetriebene Modellierung von induktiven Leistungselektronik-Komponenten mit Hilfe von konventionellem maschinellem Lernen und künstlichen neuronalen Netzen |
| Kunlun Shao | Vergleichende Bewertung und Modellierung fortschrittlicher Wechselrichtertopologien unter Berücksichtigung motorseitiger Filter |
| Jiixin Li | Development of Simulation Models for The Input Stage of A Three-Phase Bidirectional Multi-Level Charger to Investigate Capacitive Leakage Currents |
| Bruno Bünzow | Entwurf und Aufbau eines Einphasen Multilevel PFC Spannungswandlers mit galvanischer Trennung unter Verwendung von Wide Bandgap Halbleitern |
| Timo Haakert | Entwurf und Aufbau eines bidirektionalen 3-phasigen Multi-Level Wechselrichters unter Nutzung einer Rapid Prototyping Umgebung |

| | |
|---------------------|--|
| Natalia Zalba | Algorithm-based optimising of power electronic cooling structures |
| Robert Keilmann | Konzeptionierung und Entwicklung eines Rippelstromgenerators für die Alterung von Kondensatoren auf Basis eines Resonanzwandlers |
| Yisong Zhang | Topologievergleich eines zweistufigen CLLC-Wandlers und einer Dual Active Bridge mit Tripple Phase Shift Modulation zur Integration von elektrochemischen Quellen in ein All Electric Aircraft |
| Louei Nefzi | Erprobung und Evaluierung einer Methode zur Abschätzung der Restlebenszeit von Leistungshalbleitern basierend auf einer neuen Messtechnik und Kennfeldern |
| Wiebke Dirksen | Ermittlung und Analyse von Fehlerstromsignaturen von Photovoltaik-Systemen bei Lichtbogenereignissen mit Hilfe eines frequenzsensitiven Differenzstrommonitors und Evaluierung des Detektionspotentials mit Hilfe von Machine Learning-basierten Algorithmen |
| Longjie Li | Simulation und Bewertung einer online Messschaltung zur Durchlassspannungsmessung von Leistungshalbleitern in Synchronwandlern |
| Xiaohuan Li | Lebensdauer begleitende Charakterisierung von Silizium, Siliciumcarbid und Galliumnitrid Leistungshalbleiter |
| Mohammad Ammura | Erkennung der Degradation von Bauelementen in der Leistungselektronik mittels Signalanalysen im Frequenzbereich und Methoden des Machine Learnings |
| Danting Xu | Modellierung Transformatorloser Gleichspannungswandler für Elektrische Passagierflugzeuge |
| Timon Fahlbusch | „Auslegung und Konzeptbewertung einer Zustandsüberwachung für Traktionswechselrichter“ |
| Haodong Tang | Development and Construction of a Mechanical Load Emulator |
| Jean Baumann | Inbetriebnahme eines elektrifizierten Teleskopladers und Programmierung sowie Parameteroptimierung der Fahrzeugsteuerung |
| Jessica Halberstadt | Differentielle Analysemethoden zur Untersuchung von Alterungsprozessen in Lithium-Ionen-Batterien |
| Xueman Li | Parametrisches thermisches RC-Ersatzschaltbild für fremderregte Synchronmaschine mit Berücksichtigung |

| | |
|------------------|--|
| | der Fluidaufwärmung entlang der Maschine in jedem Berechnungszeitschritt |
| Zihong Li | Optimization of dual-powertrain and its key components for long haul e-trucks based on optimal energy management strategy |
| Sophie Sammler | Analyse möglicher Fehlerquellen des Rotorpositionssensors eines Traktionsantrieb und Erarbeitung von Möglichkeiten zur Kompensation |
| Thomas Zebermann | Automatisierung des Prüfablaufs für Überwachungssysteme explosionsgeschützter Antriebe und Ermittlung der Messunsicherheit der Prüfeinrichtung |
| M-Owis Daboul | A Concept for Improved Asset Tracking in Rail Infrastructure Projects |
| Jinxi Mu | Elektrofahrzeuge und Ladetechnik in China |
| Kaiti Huang | Lebensdaueranalyse von einphasigen, bidirektionalen Onboard-Chargern |
| Leon Schneider | Aufbau eines SiC-Wechselrichters zur Untersuchung von kapazitiven Einflüssen auf das Schaltverhalten |
| Xiongwei Duan | Berechnung, Design und Optimierung eines verteilten Zwischenkreises für einen SiC-Wechselrichter |
| Nikolas Herr | Gekoppelte Auslegung und Analyse von Wechselrichter und elektrischer Maschine für Luftfahrtanwendungen |
| Brama Ibrahim | Gekoppelte Auslegung und Analyse von Magnet- und Zahnradgetrieben und elektrischen Maschinen für Luftfahrtanwendungen |
| Marvin Heese | Weiterentwicklung und Validierung eines analytischen Entwurfswerkzeugs zur Design-Space-Analyse elektrischer Maschinen |
| Steven Müller | Untersuchungen zum Einfluss des Kühlsystems auf die Leistungsdichte einer elektrischen Maschine für einen Flugzeugantriebsstrang |
| Lukas Eisele | FEM-Analyse der Auswirkungen des Isolationssystems auf die Leistungsfähigkeit elektrischer Maschinen |
| Ruidong Zhang | Auswirkung dynamischer Bewegung und aggressiver Medien auf die Alterung von Hochvoltleitungen im Fahrzeug |
| Axel Lange | Entwicklung der Management-Elektronik für das Batteriesystem eines hybrid-elektrischen Lastenfahrrades |
| Marcel Falinski | Entwurf einer Umrichterplattform mit besonders schnell schaltenden Leistungshalbleitern für den Laboreinsatz |

| | |
|----------------|---|
| Leon Gartung | Entwicklung eines einphasigen Wechselrichters zur Erzeugung niederfrequenter Prüfströme bis 500 A |
| Mouchun Cheng | 1500-V-Bordnetzsysteme für elektrifizierte Nutzfahrzeuge – Entwicklung eines Simulationstools zur Bestimmungen von Anforderungen und Prognose von Wirkungsgraden |
| Yanni Chen | 1500 V power systems for electrified commercial vehicles – Design and evaluation of modular SiC MOSFET based high power density DC converter and drive inverter |
| Jianbo Tang | 1500-V-Bordnetzsysteme für elektrifizierte Nutzfahrzeuge – Entwurf und Optimierung kompakter Halbbrückenschaltungen mit SiC-MOSFETs |
| Rui Tao | 1500 V power systems for electrified commercial vehicles – Design and evaluation of on-board and off-board fast charger units with up to 500 kW |
| Xiaoguang Wang | 1500-V-Bordnetzsysteme für elektrifizierte Nutzfahrzeuge – Implementierung einer Berechnungsmethode für Halbleiterverluste in Zwei- und Drei-Level-Halbbrückenschaltungen |
| Shuo Xu | 1500 V power systems for electrified commercial vehicles – Design of galvanically insulated gate driver circuits for two and three level half bridges using SiC MOSFETs |
| Tianshui Yu | 1500-V-Bordnetzsysteme für elektrifizierte Nutzfahrzeuge – Normung von Bordnetzspannungen, Isolationsanforderungen und Analyse verfügbarer Komponenten |
| Minjia Chen | Untersuchung und Umsetzung eines geeigneten PFC-Regelungsverfahrens zur Inbetriebnahme einer 3 Level NPC-I-Typ Topologie mit GaN-Leistungshalbleitern |
| Sven Koröde | Entwurf und Aufbau eines galvanisch getrennten DC/DC-Wandlers für DC-Bus Anwendungen mit modularem Ausgangsaufbau unter Berücksichtigung von wide-bandgap Halbleitern |
| Thomas Müller | Untersuchungen zu einer Leistungselektronik für die Durchführung von Belastungstests magnetischer Bauelemente |
| Kürsad Bengül | Untersuchungen einer Leistungselektronik für Belastungstests magnetischer Bauelemente |

5 Ereignisse 2022-2023

5.1 Schlaglichter auf fachliche Aktivitäten



Kabinett des Landes Niedersachsen besucht das NFF im Juni 2022



Start des Projekts Netflexum am IMAB, Oktober 2022



*Juli 2023 Besuch des niedersächsischen Wirtschaftsministers
Olaf Lies im NFF am IMAB Prüfstand*



Juli 2023: Prof. Markus Henke, Prof. Regine Mallwitz sowie SE²A-Clustersprecher Prof. Jens Friedrichs zeigen erste Komponenten des Großgeräts E2AGLE

JiCable 23 (International Conference on Insulated Power Cables) - 2023 in Lyon, France

Im Juni 2023 fand die (Jicable 23 in Lyon statt. Johanna Anspach und Mohammadreza Bagheribavaryani von der Junior Research Group nahmen teil und präsentierten zwei Veröffentlichungen der IMAB Forschung zu AC Verlusten in Supraleitern und zur Modellierung parasitärer Effekte in Leitungen.

Rheinland-Pfälzischer Supraleiterkongress – Zukunftstechnologie mit wirtschaftlichem Nutzen 20. April 2023 (Mainz, GER)

FachexpertInnen, wie der Nobelpreisträger Dr. Johannes Georg Bednorz, präsentierten wirtschaftliche und technische Möglichkeiten der Supraleitung im Bürgerhaus Mainz-Finthen. Jan Hoffmann und Johanna Anspach nahmen an dem durch den Interessenverband Supraleitung (ivSupra) in Kooperation mit dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz organisierten Kongress teil.

Workshop zu supraleitenden Flugzeugbordnetzen an der University of Strathclyde in Glasgow 31. Mai – 03. Juni 2023 (Glasgow, UK)

Zur Steigerung des internationalen fachlichen Austausches zum Thema „SAGA: Superconducting Electric Aircraft Systems for Green Aviation“ nahm Johanna Anspach (JRG WT) zusammen mit Prof. Michael Terörde (IEMV) und Philip Senkpiel (IEMV) an einem zweitägigen Workshop an unserer strategischen Partneruniversität in Glasgow/Schottland, der University of Strathclyde (UoS), teil.



Teilnehmende des SAGA Workshops an der University of Strathclyde

12. Braunschweiger Energieseminar 21. – 22. September 2023 (Braunschweig, GER)

Im Haus der Wissenschaften trafen sich Experten aus Wissenschaft und Industrie, um sich in den Bereichen Supraleitung, Gleichstromtechnologie und Wasserstofftechnologien auszutauschen. Das IMAB konnte sich durch Präsentationen von Hendrik Schefer und Jan Hoffmann und ein Poster von Johanna Anspach fachlich an dem spannenden Informationsaustausch beteiligen. Prof. Regine Mallwitz, Prof. Markus Henke und Dr. Niklas Langmaack trugen durch die jeweilige Leitung einer Session zum organisatorischen Erfolg der Veranstaltung bei.



Gruppenfoto der Teilnehmenden des 12. Braunschweiger Energieseminars

Forschungsfeld HTS Workshop und Jahresversammlung des iVSupra 26. – 27. September 2023 (Esslingen, GER)

Die TU Braunschweig ist mit ihren Instituten IMAB und elenia Mitglied im Interessenverband Supraleitung – iVSupra. Anlässlich der diesjährigen Hauptversammlung hat der iVSupra zu Festo nach Esslingen geladen und die Versammlung an einen Workshop des Forschungsfeldes HTS geknüpft. Johanna Anspach (JRGWT) hat die TU Braunschweig bei diesem Event vertreten und im Austausch mit den deutschen Supraleitung und Kryotechnik Experten über die Schlüsselfaktoren für den Markterfolg der Supraleitung diskutiert.



Teilnehmende der Jahreshauptversammlung des ivSupra

Besuch des Ministers für Wissenschaft und Kultur, Falko Mohrs am IMAB



Am 20.11.2023 informierte sich der niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kultur Falko Mohrs im NFF über die Mobilitäts- und Energieforschung an der TU Braunschweig. Neben der Darstellung des breiten Forschungsspektrums und der thematischen Verzahnung der am NFF beteiligten Institute bot sich an den Prüfständen des IMAB die Gelegenheit zu einer umfassenden Darstellung der für die Entwicklung elektrischer Antriebe verfügbaren Ausrüstung des Institutes und der aktuellen und zukünftigen Projekte im Bereich der induktiven Energieübertragung.

Ausgezeichnete Ausbildung am IMAB

Seit vielen Jahren bildet Ulrike Nissen als sehr engagierte Ausbilderin am IMAB junge Menschen aus. In 2023 beendete Jörn-Torge Lauenstein seine Ausbildung zum Kaufmann für Büromanagement mit „sehr gut“ – ein großer Erfolg und eine Auszeichnung für beide – Ausbilderin und Auszubildender.



5.2 Kalender

In den vergangenen Jahren fanden auch zahlreiche Ereignisse und Events statt, die abseits des Institutsalltags für Aufsehen sorgten.



Februar 2022 Verabschiedung Herbert Rawe



Mai 2022 Wassereinbruch in den Laboren



Juni 2022 – Doktorfeier von Dr. Niklas Langmaack mit Flux Kompensator



Juni 2022 Verabschiedung unserer ehem. Auszubildenden Julia Fischer



08. August 2022 – Goldene Promotion Dr. Helmut Mosebach



12. Dezember 2022 Weihnachtsfeier 2022



Das IMAB gratuliert Dirk Fischer – jetzt Dirk Ferch – zur Hochzeit (Juni 2023)



Juli 2022 Institutsausflug – Buffet am Tankumsee und Grillen an der Halle



Februar 2023 Verabschiedung Robert Rohn



27. April 2023 Zukunftstag 2023



24. Mai 2023 Besuch einer Schülergruppe der deutschen Schule Athen



Juli 2023: Institutsausflug zur Fa. Enercon nach Magdeburg



3. Juli 2023 Institutsausflug Magdeburg – Enercon und Barleber See



Oktober 2023 Promotion Dr. Lucas Hanisch



*November 2023 Verabschiedung
Peter Hoffmann in den Ruhestand*





*Dezember 2023
Verabschiedung Hendrik Marks*



*Dezember 2023
Verabschiedung Sridhar Balasubramanian (Sri)*



Dezember 2023 IMAB Weihnachtsfeier

6 Veröffentlichungen 2022-2023

- [1] [L. Radomsky, R. Mallwitz, "Review, Comprehensive Analysis and Derivation of Analytical Power Loss Calculation Equations for Two- to Three-Level Midpoint Clamped Inverter Topologies with Hybrid Switch Configurations", *Energies*, 2023, 16, 6710, <https://doi.org/10.3390/en16186710>](#)
- [2] L. Radomsky, R. Keilmann, D. Ferch, R. Mallwitz, "Challenges and Opportunities in Power Electronics Design for All- And Hybrid Electric Aircraft: A Qualitative Review and Outlook", Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2023, 19-21 September 2023, Stuttgart, Germany
- [3] J. Franzki, M. Henke: Fast Electromagnetic and Thermal Design Space Analysis for PMSM Propeller Drives, *2023 IEEE 14th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Montreal, QC, Canada, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/PEDS57185.2023.10246713.
- [4] N. Yogal, C. Lehrmann, M. Henke: Reviewing Standards and Guidelines for High-Energy Efficient Line-Start Permanent Magnet Synchronous Machines with Explosion-Proof Capability in Explosive Atmospheres: A Comprehensive Analysis, SDEMPED23. 14th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics & Drive
- [5] D. Fischer, R. Rohn, R. Mallwitz: Design Approach of an Integrated SiC-Inverter for an Electric Aircraft, ESARS-ITEC 2023; International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference, Venedig
- [6] M. Bagheribavaryani et al: Solutions for integrating fuel cell systems into electric on-board grid for sustainable mobility applications, 2023 IEEE 14th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS), Montreal, QC, Canada, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/PEDS57185.2023.10268834.
- [7] M. Bagheribavaryani, N. Langmaack: Real-time parameter estimation for EMI modelling of AC cables in automotive electric drive systems JiCable 23, June 2023, Lyon - France.
- [8] D. Fischer, R. Mallwitz: Characterizing SiC-Based Drive Inverter Losses Using the Method of Reduced Continuous Operation, PEDG 2022; Power Electronics for Distributed Generation Systems, Kiel
- [9] D. Fischer, R. Rohn, R. Mallwitz: Comparative Implementation of a Two-Stage DC-Link, PCIM 2022; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nürnberg
- [10] Florian Lippold, Philipp Hauenschild, Regine Mallwitz, "Comparison of Power Cycling Results of discrete GaN Cascodes for Automotive Power Electronics with high Temperature Swings", 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe)
- [11] [Florian Lippold, Regine Mallwitz, "Lifetime Model Adjustments for GaN Cascodes as a Base for Inverter Lifetime Estimation", *Power Electronic Devices and Components, Volume 5, June 2023*, <https://doi.org/10.1016/j.pedc.2023.100039>](#)
- [12] H. Schefer, W. -R. Canders, J. Hoffmann, R. Mallwitz and M. Henke, "Cryogenically-Cooled Power Electronics for Long-Distance Aircraft", in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 133279-133308, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3228161

-
- [13] [H. Schefer, L. Hanisch, T. -H. Dietrich, R. Mallwitz and M. Henke, "Design of a High-Dynamic Test Bench for Accelerated Dielectric Lifetime Testing with Adjustable Voltage Slopes and Temperatures", 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications \(EPE'22 ECCE Europe\), 2022, pp. 1-10.](#)
- [14] R. Keilmann, H. Schefer and R. Mallwitz, "Study of Current Ripple Generators for Accelerated Ageing of Capacitors", 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe), 2022, pp. 1-11.
- [15] H. Schefer, Z. Xu, T. Kopp, R. Mallwitz and M. Kurrat, "Investigation of Creepage Distances on Printed Circuit Boards for Avionic Applications", 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe), 2022, pp. 1-10.
- [16] H. Marks, H. Schillingmann, S. Balasubramanian, M. Henke: "Linear Flux-Switching Machine Design - A Multiobjective Optimization," 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe), Hanover, Germany, 2022, pp. 1-8.
- [17] J. Anspach, N. Langmaack, "Superconducting Power Transmission for Mobility Applications and Investigation of AC Loss Effects", Jlcable'23, Lyon
- [18] L. V. Hanisch, J. Franzki and M. Henke, "Impact of Insulation and Cooling on Performance due to Reliability-Oriented Design of Electrical Machines," 2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe), 2022, pp. 1-7.
- [19] L. V. Hanisch, S. Balasubramanian, M. Sander, M. Henke et al.: Influence of Driving Behavior on Thermal and Lifetime Characteristics of Electric Machines for Automotive Applications, SAE Int. J. Elect. Veh. 12(2):2023, doi:10.4271/14-12-02-0013
- [20] N. Wahler, L. Radomsky, L. V. Hanisch, R. Mallwitz, M. Henke & A. Elham: A Credibility-Based Criterion for the Assessment of Futuristic Aircraft Concepts, Sept. 2022, Conference: 33rd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Stockholm, Sweden
- [21] N. Wahler, L. Radomsky, L.-V. Hanisch, J. Göing, P. Meyer, R. Mallwitz, J. Friedrichs, M. Henke and A. Elham: An Integrated Framework for Energy Network Modeling in Hybrid-Electric Aircraft Conceptual Design, AIAA 2022-3741. AIAA AVIATION 2022 Forum. June 2022.
- [22] L. V. Hanisch, L. Eisele, K. Lünne and M. Henke: Modeling of Transient Overvoltages in Inverter-fed Machines with Hairpin Winding, 2022 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 2022, pp. 605-609, doi: 10.1109/SPEEDAM53979.2022.9842267.
- [23] P. -O. Gronwald, N. Wiese, T. A. Kern and M. Henke: Electric traction motor spray cooling – Empirical model development and experimental validation, in IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2022, doi: 10.1109/TTE.2022.3206031.
- [24] D. Fischer, R. Rohn and R. Mallwitz, "Comparative Implementation of a two-stage DC-Link," PCIM Europe 2022; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2022
- [25] D. Fischer and R. Mallwitz, "Characterizing SiC-Based Drive Inverter Losses Using the Method of Reduced Continuous Operation," 2022 IEEE 13th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Kiel, Germany, 2022
- [26] S. Scherler, "Zeit- und energieoptimierter Fahrbetrieb eines Elektrofahrzeugs mit Brennstoffzellen-Range-Extender im digital vernetzten Verkehr", Dissertation TU Braunschweig 2022, Shaker Verlag
- [27] N. Langmaack, "Optimierung leistungselektronischer Wandler in Fahrzeugantriebssträngen basierend auf Siliziumkarbidleistungshalbleitern", Dissertation TU Braunschweig 2022, Cuvillier Verlag, Göttingen
- [28] L. V. Hanisch, „Zuverlässigkeitsorientierte Auslegungsmethodik elektrischer Maschinen unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Isolationsystemen“, Dissertation TU Braunschweig, 2023, Cuvillier Verlag, Göttingen

... zu guter Letzt ein Blick auf die kreative Neugestaltung aktueller Praktikumsversuche unter Einhaltung sämtlicher Arbeitssicherheitsvorschriften durch Tim-Hendrik Dietrich und Niklas Langmaack im Rahmen unserer Weihnachtsfeier 2023 ...

