

Abschlussarbeiten

Stand: 08/2025

Inhaltsverzeichnis / Themenbereiche

1	Windenergie	2
2	Mechatronische Antriebssysteme	9
3	Leistungselektronik und Stromrichter	10
4	Dezentrale Energiesysteme, Netzqualität und Energiekonditionierung	11
5	Elektromobilität und Verkehrssysteme	14
6	Energiespeichersysteme	15

Allgemeine Hinweise:

- Die Themen für Abschlussarbeiten (BA/MA) werden fortlaufend aktualisiert.
- Einzelne konkrete Themen für Praxisprojekte mit Möglichkeit einer anschließenden themenverwandten Bachelorarbeit sind ebenfalls gelistet und werden fortlaufend aktualisiert.
- Wenn Sie sich für eines der übergeordneten Themenbereiche interessieren, aber kein konkretes Thema finden, zögern Sie nicht uns anzusprechen. Nehmen Sie Kontakt zu den MitarbeiterInnen auf. Einzelne Forschungsthemen, welche von den wissenschaftlichen MitarbeiterInnen bearbeitet werden, können Sie entweder aus den ausgeschriebenen Abschlussarbeitsthemen ableiten oder auf den Personenseiten¹ unserer Webseite entnehmen.

Ansprechpersonen² für Praxisprojekte

- **Windenergie** – Benedikt Spichartz, M.Sc.
- **Mechatronische Antriebssysteme** – Prof. Dr.-Ing. Constantinos Sourkounis
- **Leistungselektronik und Stromrichter** – Simon Johannliemke, M.Sc.
- **Dezentrale Energiesysteme, Netzqualität** – TBD
- **Elektromobilität und Verkehrssysteme** – Dr.-Ing. Philipp Spichartz
- **Energiespeichersysteme** – Daniel Breuer, M.Sc.

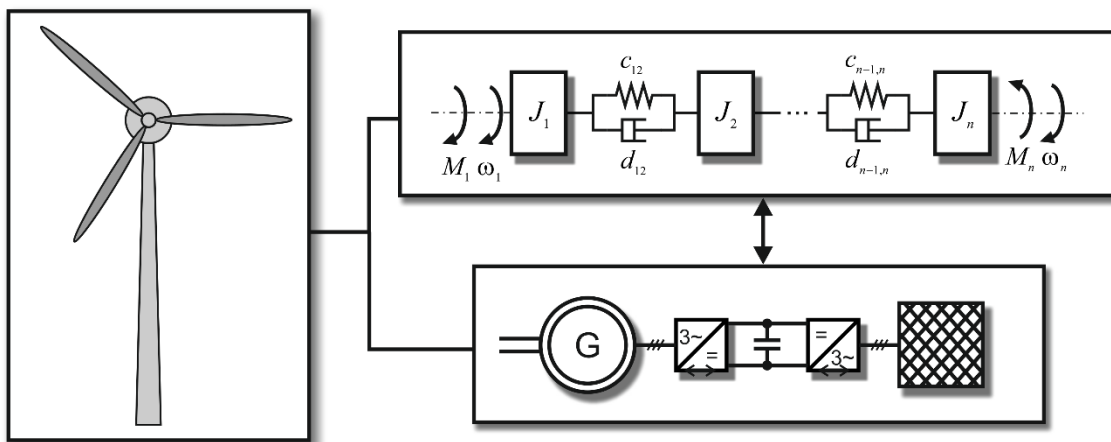
¹ Link: https://www.enesys.ruhr-uni-bochum.de/enesys/ueber_uns/personen.html.de

² Link: <https://www.enesys.ruhr-uni-bochum.de/enesys/lehre/praxisprojekte.html.de>

1 Windenergie

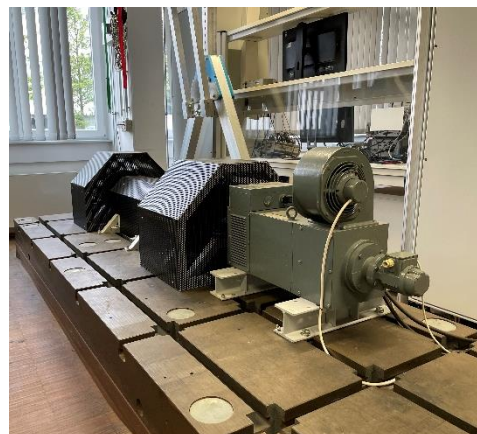
1) Mechanische und elektrische Modellierung drehzahlvariabler Windenergiekonverter am Netz (Tölle, Masterarbeit)

Der Ausbau der Windenergie spielt eine zentrale Rolle um gesetzte Klimaziele zu erreichen. Dadurch wird das elektrische Verbundnetz immer mehr durch die Windenergie beeinflusst. Die Untersuchung von Interaktionen der mechanisch-rotatorischen und der elektrischen Seite des Antriebsstrangs untereinander sowie mit dem Verbundnetz sind daher essentiell um bestehende und zukünftige Systeme zu optimieren und einen effizienten und stabilen Betrieb zu gewährleisten. Ziel dieser Arbeit ist daher eine Literaturrecherche von Modellen verschiedener Ordnung zur Nachbildung von Windenergiekonvertern (WEK) am Netz sowie simulativer Implementierung in MATLAB/Simulink. Diese Modelle sollen anschließend im Hinblick auf verschiedene Interaktionsphänomene der einzelnen WEK-Komponenten untereinander sowie mit dem elektrischen Verbundnetz anhand sinnvoller Untersuchungsszenarien untersucht werden.



2) Optimierung der Benutzeroberfläche und Regelungsstruktur eines Maschinenprüfstandes zur Nachbildung drehzahlvariabler Windenergiekonverter (Tölle, Bachelorarbeit, Praxisprojekt)

Am Institut existiert ein Prüfstand zur Nachbildung eines drehzahlvariablen Windenergiekonverters (WEK) mit besonderem Fokus auf die Netzintegration von Windenergie, der unter anderem für mehrere Praktikumsversuche genutzt wird. Im Rahmen dieser Arbeit soll zunächst eine Literaturrecherche zu WEK und deren Netzintegration erfolgen. Anschließend soll sowohl die Benutzeroberfläche als auch die zu Grunde liegende Regelungsstruktur (umgesetzt in dSPACE) optimiert und angepasst und die Funktionsweise durch geeignete Messungen überprüft werden.



3) Möglichkeiten für einen netzdienlichen Betrieb von Windenergiekonvertern (Tölle, Masterarbeit)

Die voranschreitende Durchdringung von erneuerbaren Energien, speziell der Windenergie, stellt zukünftige Verteil- und Übertragungsnetze vor große Herausforderungen. Durch den Wegfall konventioneller thermischer Kraftwerke entstehen Netze mit geringer Massenträgheit (Low-Inertia Grids), in denen kaum bis gar keine Momentanreserveleistung mehr vorhanden ist. Dies hat gravierende Auswirkungen auf die Frequenzstabilität des Systems. Um auch in diesen Netzen weiterhin einen stabilen Betrieb zu gewährleisten, werden insbesondere an die Regelung von drehzahlvariablen Windenergiekonvertern (WEK) besondere Anforderungen (z.B. harmonische Grenzwerte, Fault-Ride-Through, usw.) gestellt. Ziel dieser Arbeit soll daher zunächst eine Recherche dieser Anforderungen in zukünftigen Netzen und mögliche Regelungs- und Betriebsführungsstrategien zur Erfüllung dieser Anforderungen sein. Des weiteren soll ein parametrierbares Netzmodell und ein WEK mit entsprechender Regelung/Betriebsführung in MATLAB/Simulink entworfen und implementiert werden. Mit Hilfe geeigneter Untersuchungsszenarien sollen die verschiedenen Strategien hinsichtlich eines netzdienlichen Betriebs bewertet werden.

4) Nachlaufprädiktion in einem Windpark mithilfe Künstlicher Intelligenz (Krajinski, Masterarbeit)

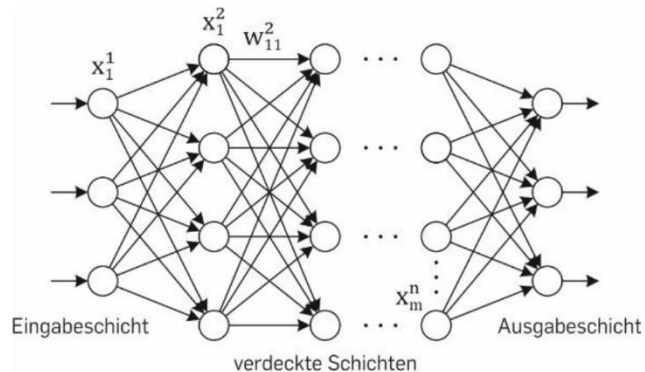
Es werden Verfahren Künstlicher Intelligenz (KI) zur Reduktion der Auswirkungen von Nachlaufströmungen in Windparks erforscht. Ziel ist die Optimierung der Betriebsführung, gemessen an einer Erhöhung des Energieertrags und einem positiven Einfluss auf die Komponentenbelastung der Anlagen. In dieser Masterarbeit soll ein KI-basiertes System zur Prädiktion von Nachlaufströmungen erarbeitet und simulativ validiert werden. Dieses soll ausgehend von den Messwerten der Einzelanlagen in einem Windpark eine Prädiktion sowohl des zukünftigen Energieertrags als auch der zu erwartenden Strukturbelastung für unterschiedliche Stellgrößenkombinationen von Leistungsbegrenzung und Gierwinkel ermöglichen. Dazu sollen Regressionsmodelle aus dem KI-Bereich (z.B. Künstliche Neuronale Netzwerke, KNN) verwendet und trainiert werden.



Foto: Vattenfall

5) Optimierungen in der Betriebsführung von Windenergiekonvertern durch eine Nachlaufregelung basierend auf Künstlicher Intelligenz (Krajinski, Masterarbeit)

Es werden Verfahren Künstlicher Intelligenz (KI) zur Reduktion der Auswirkungen von Nachlaufströmungen in Windparks erforscht. Ziel ist die Optimierung der Betriebsführung, gemessen an einer Erhöhung des Energieertrags und einem positiven Einfluss auf die Komponentenbelastung der Anlagen. In dieser Masterarbeit soll ein KI-basiertes Regelungssystem konzipiert und simulativ validiert werden, um den Energieertrag eines einfachen Anlagenverbunds zu optimieren. Mithilfe eines Künstlichen Neuronalen Netzwerks (KNN) sowie Trainingsalgorithmen aus dem Bereich Reinforcement Learning (RL) sollen so die Möglichkeiten und Grenzen bei der KI-basierten Regelung von Windenergiekonvertern erforscht werden.



Künstliches Neuronales Netzwerk (KNN)

6) Praxisprojekte und Abschlussarbeiten am Smart Windpark Laboratory (Betreuung durch verschiedene Mitarbeiter des Instituts, Hauptansprechperson: B. Spichartz)

Das Institut verfügt über ein Laboratorium zur Nachbildung von Windparks. Die Infrastruktur bietet eine einzigartige Plattform u. a. zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von Windenergieanlagen, zur Validierung neuer Regelungsverfahren und zur Entwicklung innovativer Systeme und Algorithmen bspw. zum Monitoring von Anlagenkomponente oder zur Regelung und Betriebsführung von Windparks. Verschiedene Fachbereiche werden adressiert:

Mechatronische Antriebssysteme – Modellierung des Antriebsstrangs einer Windenergieanlage bis hin zu den Tragstrukturen; Fortgeschrittene Regelungs- und Beobachterstrukturen zur aktiven Dämpfung von Schwingungen im Triebstrang;

Leistungselektronik und Stromrichter – Untersuchung neuartiger Verfahren für Maschinen- und Netzstromrichter in verschiedenen Anlagentypen (DFIG, PMSG);

Dezentrale Energiesysteme, Netzqualität – Untersuchung der dynamischen Interaktionen von Windenergieanlagen am Netz; (Über-)regionale Windpark-Interaktionen; Beitrag zur Netzstützung insbesondere in zukünftigen Netzen mit hohem Anteil Erneuerbarer Energien

Sprechen Sie gerne den o. g. Hauptansprechpartner an. Weitere, bereits konkretisierte Themen (inkl. Ansprechperson) finden Sie nachfolgend in dieser Liste:

7) Inbetriebnahme und Optimierung von 22 kW Maschinenprüfständen zur Nachbildung von Windanlagen (B. Spichartz, V. Kipke, Masterarbeit, Bachelorarbeit, Praxisprojekt)

Im Rahmen von Windparkuntersuchungen werden mehrere Maschinenprüfstände zur Nachbildung von Windenergiekonvertern (WEK) errichtet. In Abschlussarbeiten kann bei der Inbetriebnahme der Prüfstände (Software- und Hardware-Ebene) mit doppelt gespeistem Asynchroner Generator (DFIG) bzw. mit Permanentenerregten Synchroner Generator (PMSG) unterstützt werden. Im Rahmen des aktuellen Inbetriebnahme-Fortschritts ist aktive Teilnahme durch Implementierung von Regelungsverfahren zur Ansteuerung der Netz- und/oder Generatorseite (FPGA-Programmierung), zur Automatisierung und zur Kalibrierung der Prüfstände möglich. Als wissenschaftliche Untersuchungsaspekte ergeben sich Fragestellungen wie Optimierungsmöglichkeiten von

einzelnen WEK oder einem Anlagenverbund im Windpark, Fortgeschrittene Verfahren zur Drehzahl- und Maschinenregelung, Regelung elastisch gekoppelter Antriebssysteme u. v. m.

Anm.: Die konkrete Aufgabenstellung richtet sich nach dem aktuellen Inbetriebnahme Fortschritt. Bei Details zu den aktuellen Aufgaben kontaktieren Sie Herrn B. Spichartz (b.spichartz@enesys.rub.de) und/oder Herrn Kipke (kipke@enesys.rub.de).

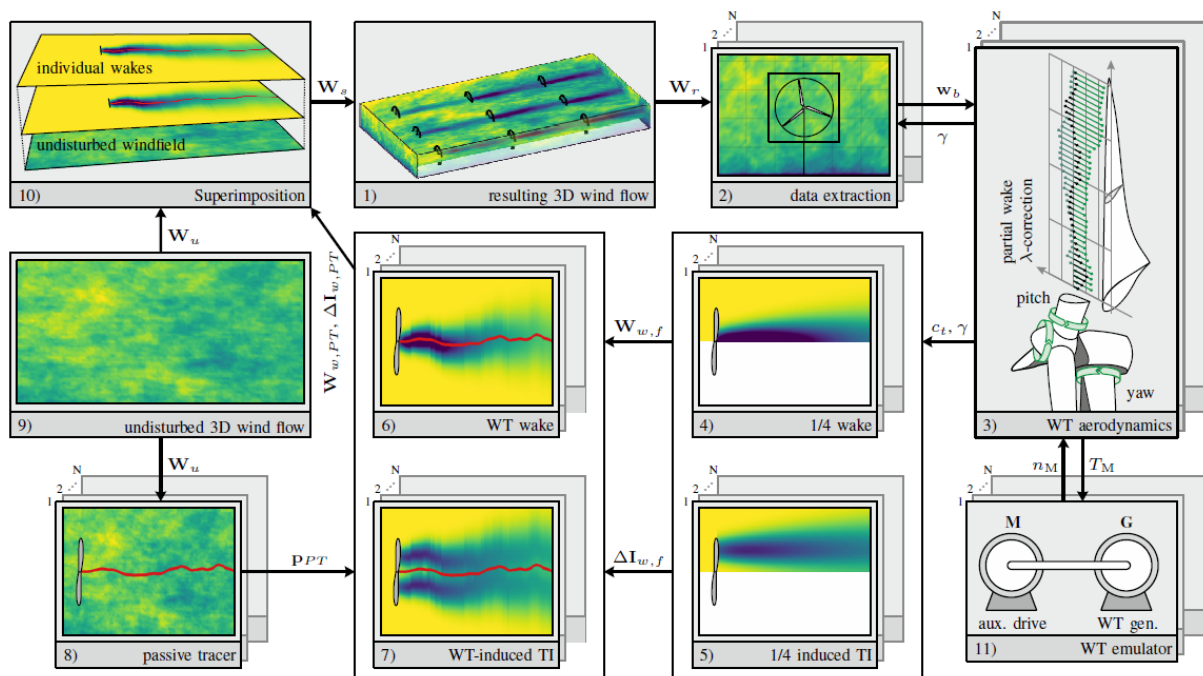


8) Multi-Core Simulationen mit Simulink um große Windparksimulationen zu beschleunigen und Limitierungen von Matlab/Simulink zu reduzieren (Kipke, Masterarbeit)

Zur realitätsgetreuen Simulation und Untersuchung der Wechselwirkungen von Windenergiekonvertern in Windparks sowie zwischen Windparks wird das am Institut entwickelte Modell *SWiPLab-WFM* eingesetzt. Es basiert auf Matlab/Simulink und wird daher als Single-Core-Anwendung nur auf einem Rechenkern ausgeführt. Im Kern dieses Themas steht die Erarbeitung der Möglichkeiten, Multi-Core-Simulationen in Simulink zu implementieren und diese auf das *SWiPLab-WFM* anzuwenden. Dadurch werden die Rechenressourcen besser ausgenutzt, die Simulation beschleunigt sowie bestimmte Grenzen in der Simulink-Umgebung vermieden.

Diese Arbeit ermöglicht neben den Implementierungsaspekten auch den Einstieg in die Windenergie sowie die Bearbeitung von Fragestellungen bzgl. der Windparkoptimierung und intelligenter Windparkcluster-Betriebsführung sowie allgemein die Mitarbeit an aktuellen Forschungsthemen.

Nach erfolgreichem Abschluss wird zusammen mit dem Betreuer eine Publikation zu den Kernaspekten der Arbeit angestrebt.



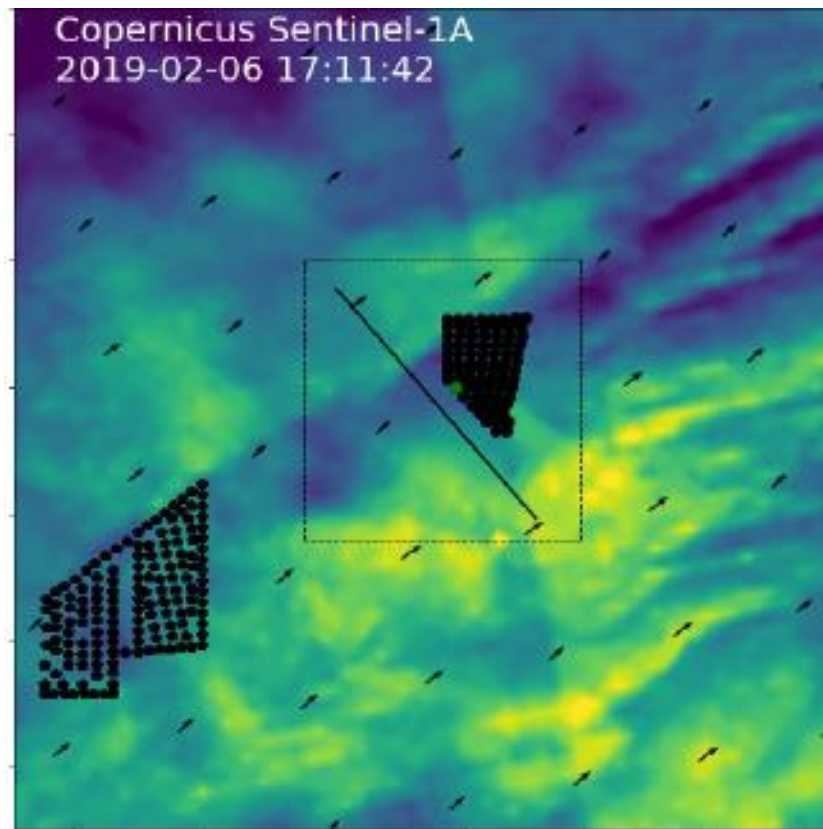
[Kipke, Vile / Sourkounis, Constantinos, *Three-Dimensional Dynamic Wake Model for Real-Time Wind Farm Simulation*, 2024 32nd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), <https://ieeexplore.ieee.org/document/10566140>]

9) Gegenseitige aerodynamische Beeinflussung von Windparks (Kipke, Bachelorarbeit)

Die steigende Dichte von Windparks onshore wie auch offshore führt dazu, dass Windparks zwangsläufig näher beieinanderstehen. Dies kann dazu führen, dass ganze Windparks im „Windschatten“, dem sogenannten Nachlauf anderer Windparks stehen, selbst über größere Entfernungen. Hierdurch wird besonders die Energieumsetzung reduziert, aber auch die Strukturbelastung erhöht. Im Rahmen dieses Themenfeldes erlaubt eine breite Recherche die Windpark-zu-Windpark-Interaktion einzuordnen, den Stand der Forschung zu erarbeiten, die Relevanz für die Standortsuche zu bestimmen, die Beeinträchtigungen zu beschreiben und um Möglichkeiten zu identifizieren, wie diese Einflüsse reduziert werden können.

Simulationen können für gewählte Layouts, Szenarien und aerodynamische Randbedingungen jene Auswirkungen der Interaktion quantifizieren. Gezielte Eingriffe in die Regelungsstrukturen der einzelnen Windenergiekonverter ermöglichen es, auf Stärke und Dynamik der Interaktionen einzuwirken und die Ansätze zu bewerten.

Nach erfolgreichem Abschluss wird zusammen mit dem Betreuer eine Publikation zu den Kernaspekten der Arbeit angestrebt.

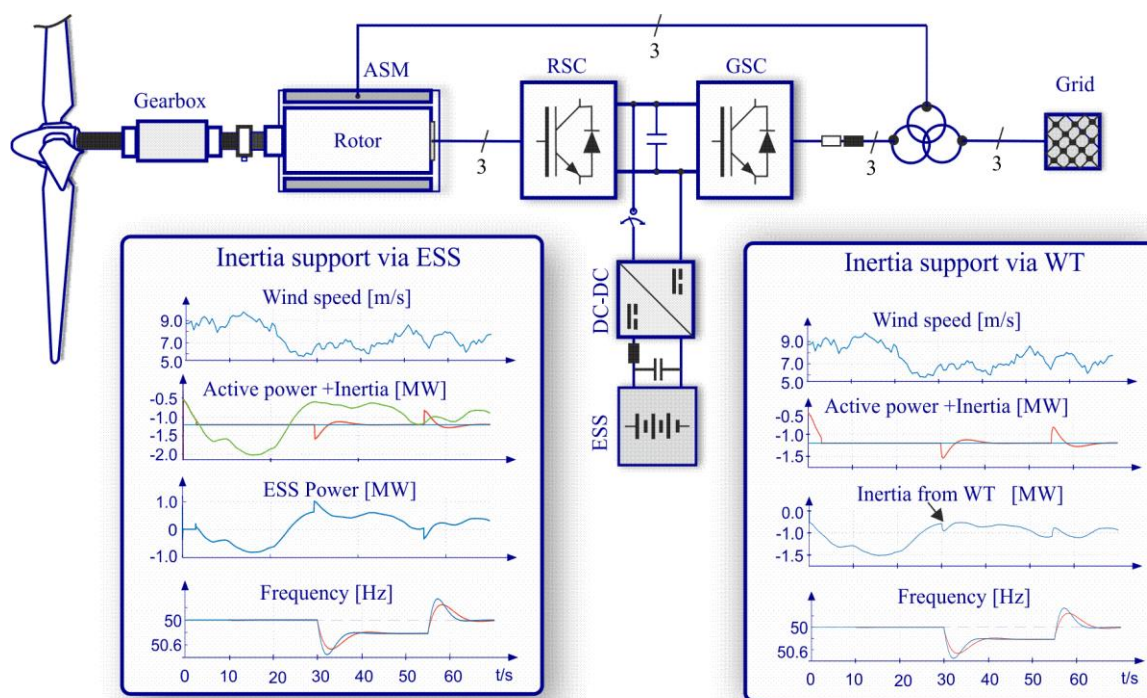


[Schneemann, J. / Rott, A. / Dörenkämper, M. / Steinfeld, G. / Kühn, M. *Cluster wakes impact on a far-distant offshore wind farm's power*, 2020, <https://wes.copernicus.org/articles/5/29/2020/>]

10) Constant active power and inertia control of wind power system via energy storage system (Isa, Bachelorarbeit/Masterarbeit)

High integration of wind power into the electrical grid could be challenging due to daily and annual changes in the load drawn from the grid and the availability of wind energy. Moreover, rapid fluctuations in wind speed reduce the electrical grid's power quality. In addition, due to variable-speed wind turbines, the use of power electronic inverters in power networks has been increasing, allowing wind turbines to be decoupled from loads. Accordingly, this decreases inertia, making power systems more sensitive to frequency fluctuations and power imbalances, potentially resulting in power supply interruptions.

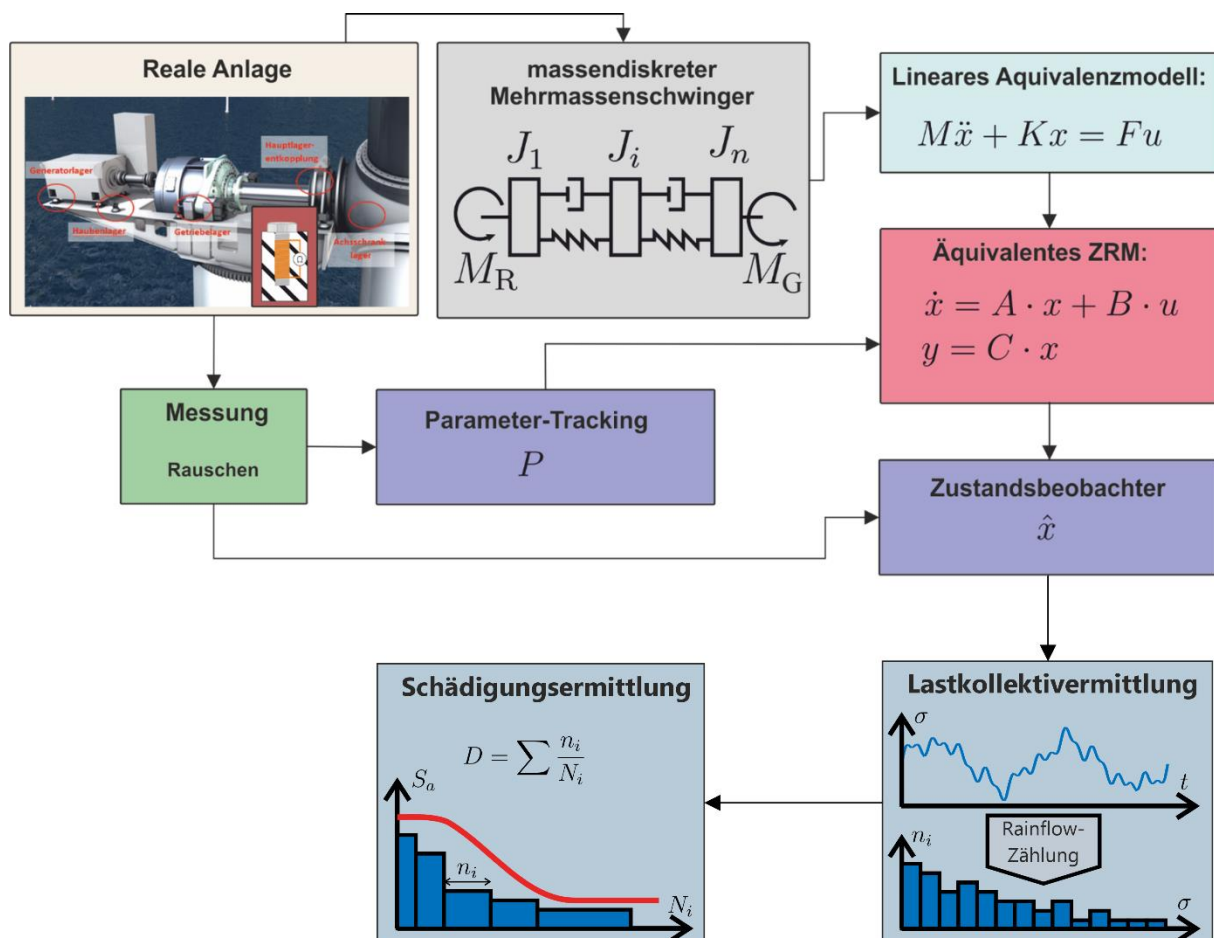
Thus, this research aims to investigate the constant active power control of wind energy conversion systems with energy storage systems (ESS) connected to grid using MATLAB/Simulink. In addition, in order to improve the stability of the power system with high penetration of wind power, the provision of inertia support to the grid through the rotating mass of the wind turbine and the ESS will also be investigated via simulations.



2 Mechatronische Antriebssysteme

1) Entwicklung eines echtzeitfähigen Condition Monitoring Systems für den Antriebsstrang von Windenergiekonvertern unter Einbeziehung von Messgrößen und Beobachtermodellen (Tölle, Masterarbeit)

Zur Erreichung zahlreicher Klimaziele nimmt der Ausbau der Windenergie, besonders mit den in Deutschland zur Verfügung stehenden Ressourcen, eine entscheidende Rolle ein. Die wartungsintensivsten Komponenten eines Windenergiekonverters (WEK) stellen die mechanischen Komponenten des Antriebsstranges (Getriebe, Welle, Rotorblätter, usw.) dar und sind dementsprechend maßgeblich für wartungsbedingte Stillstands-Intervalle der Anlage verantwortlich. Eine Steigerung der Anlagenverfügbarkeit ist sowohl aus ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekten von großer Bedeutung. Ziel der Arbeit ist daher die Entwicklung eines sogenannten Condition Monitoring Systems (CMS), das eine Schätzung des „Gesundheitszustandes“ und der Restlebensdauer der Anlage, auf Basis von Messdaten und adaptiven Beobachtermodellen, ermöglicht. Dabei soll das CMS in der Lage sein kontinuierlich während des laufenden Betriebes der Anlage die entsprechenden Schätzungen durchzuführen (Echtzeitfähigkeit) und im Falle von relevanten Parameteränderungen das zu Grunde liegende Modell des Antriebsstranges anzupassen. Nach einer ausführlichen Literaturrecherche über State-of-the-art CMS und zur möglichen Umsetzung, soll eine Implementierung und Validierung anhand simulativer WEK-Modelle erfolgen. Eine Implementierung an verschiedenen WEK-Maschinenprüfständen des Institutes ist ebenfalls möglich.



3 Leistungselektronik und Stromrichter

1) Entwurf und simulative Entwicklung einer Modellprädiktiven Spannungsregelung für eine Zweipunkt-Umrichter mit LCL-Filter (Siepelmeyer, Masterarbeit)

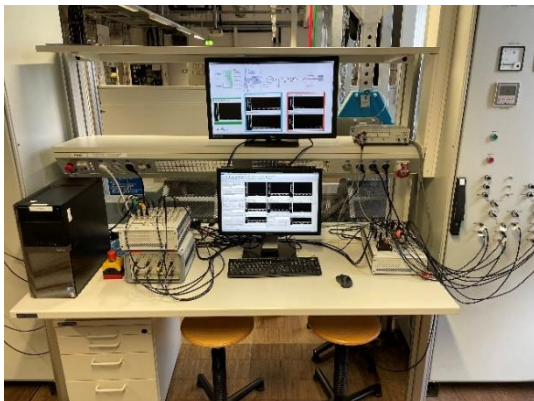
Zweipunkt-Dreistrang-Umrichter mit LCL-Filter werden in den meisten Fällen für die Kopplung zwischen dem elektrischen Energieversorgungsnetz und dem Energiewandlungsprozess genutzt. Im Gegensatz zu Synchronmaschinen, in denen das Verhalten zum Netz hin durch die Massenträgheit und die Trägheit des Erregerstromstellers definiert ist, ist das Verhalten von Umrichtern aufgrund der zeitvarianten Differentialgleichungen maßgeblich von der Ansteuerung der Schaltventile abhängig. Auf diese Weise stellt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Regelungs- und Betriebsführung und der Netzverträglichkeit her. Um auch in Zukunft ein sicheres und stabiles elektrisches Energieversorgungsnetz zu gewährleisten, muss die Regelung der mit dem Netz verbundenen Umrichter genauestens verstanden und bestmöglich angewandt werden.

Im Stand der Technik werden überwiegend PI-Regler in rotierenden Koordinatensystemen verwendet. Neben der sehr einfachen Reglerauslegung ist auch die Überführung in die Sollwertfolge bei sprungförmigen Führungsgrößenwechseln mit ausreichender Dynamik erreichbar. An Grenzen stoßen PI-Regler, wenn nicht sprungförmige Störungen auftreten, wie es z. B. bei Harmonischen in Strom und Spannung der Fall ist. In diesen Fällen müssen Zusatzeinrichtungen in die Regelungs- und Betriebsführungsstruktur eingebunden werden. Es hat sich gezeigt, dass alternative Konzepte wie modellbasierte Regelungen, Mehrgrößenregler oder modellprädiktive Regelungen eine echte Alternative zu Reglern in rotierenden Koordinatensystemen darstellen können.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein grundlegendes Gerüst für eine modellprädiktive Spannungsregelung geschaffen werden, welche den Zustand der Spannung am Filterkondensator regeln soll.

2) Implementierung einer bestehenden Regelungsstruktur auf eine dSPACE-System (Siepelmeyer, Praxisprojekt, Bachelorarbeit)

Im Rahmen dieser Arbeit soll zunächst sowohl die Einarbeitung in eine bestehende Regelungsstruktur in Matlab/Simulink für einen Zweipunkt-Dreistrang-Umrichter im Netzparallelbetrieb als auch das Anlernen des Umgangs mit dSPACE-Systemen erfolgen. Anschließend folgt die Implementierung der Regelung auf einem Prüfstand. Die Funktionsweise wird durch geeignete Messungen überprüft und ausgewertet.



4 Dezentrale Energiesysteme, Netzqualität und Energiekonditionierung

1) Optimierte Nutzung von Blockheizkraftwerken (BHKW) in einem gekoppelten Strom-Wärme-System eines Wohnquartiers (Fabritz, Praxisprojekt, Bachelor-, Masterarbeit)

Ziel dieser Arbeit ist die detaillierte Modellierung eines gasbetriebenen Blockheizkraftwerks (BHKW) zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung für den Einsatz in einem energieoptimierten Wohnquartier. Die Einbindung des BHKWs in ein Quartiersmodell sowie das Zusammenspiel mit einer vorhandenen Wärmepumpe dienen zur funktionalen Einbettung und zur Beurteilung des Modells in einem realistischen Nutzungskontext. Darauf aufbauend soll eine Steuerungsstrategie unter festgelegten Optimierungszielen entwickelt werden.

Aufgabenpunkte:

- (Literatur-)Recherche zu BHKWs im Kontext der dezentralen Energieversorgung und zur Rolle des BHKWs im Zusammenspiel mit anderen Wärmeerzeugern wie Wärmepumpen
- Entwicklung eines dynamischen Modells eines gasmotorischen BHKWs
 - Modellierung von Start-Stopp-Verhalten, Laufzeitbeschränkungen, Wirkungsgradkennlinien (thermisch und elektrisch): Berücksichtigung thermischer Trägheiten und interner Verluste
 - Parametrierung des Modells für typische Anlagenleistung im Wohnquartiermaßstab
- Einbindung einer existierenden Wärmepumpe zur Beurteilung des Zusammenwirkens
- Definition von Optimierungszielen (Minimierung der CO₂-Emissionen, Maximierung des Eigenverbrauchs, Minimierung der Betriebskosten, Reduzierung von Takten und Starts)
- Entwicklung einer Steuerungs- oder Regelungsstrategie unter Berücksichtigung der Optimierungsziele auf BHKW-Ebene und ggf. übergeordneter Ebene
- Analyse ausgewählter Betriebsszenarien (wärmegeführt, stromgeführt)
- Vergleich von BHKW-Betriebsstrategien in Verbindung mit der Wärmepumpe

2) Einsatzoptimierung von Wärmepumpen in Wohnquartieren unter Berücksichtigung von PV-Erzeugung und Wärmespeichern (Fabritz, Praxisprojekt, Bachelor-, Masterarbeit)

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine detaillierte Modellierung einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe zur Wärmeversorgung in einem Wohnquartier erfolgen. Die Wärmepumpe soll im Zusammenspiel mit einer Photovoltaikanlage und einem thermischen Speicher analysiert und durch eine Steuerstrategie hinsichtlich definierter Optimierungsziele betrieben werden. Dabei sollen zwei Varianten – eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und eine Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdwärme) – betrachtet und hinsichtlich Energieeffizienz, Laufzeiten und Netzintegration verglichen werden.

Aufgabenpunkte:

- (Literatur-)Recherche zu Wärmepumpen im Kontext der dezentralen Energieversorgung
- Beschreibung und Herausforderungen des Anwendungsfalls: Wohnquartier mit PV-Anlage, Wärmepumpe und thermischem Speicher
- Aufbau eines dynamischen Modells der Wärmepumpe unter Berücksichtigung thermodynamischer Kenngrößen (z. B. saisonaler COP in Abhängigkeit der Quell- und Senktemperaturen)
- Modellierung eines thermischen Speichers mit einfacher Lade-/Entladecharakteristik
- Definition und Auswahl geeigneter Zielkriterien (Maximierung des PV-Eigenverbrauchs, Minimierung des Stromverbrauchs durch COP-optimierten Betrieb, Vermeidung von Lastspitzen im Netzbezug, ggf. Kosten)
- Entwicklung eines einfachen Lastmodells (Heizung und Warmwasser)

- Implementierung einer einfachen, optimierungsbasierten Steuerung der Wärmepumpe (z. B. temperatur- und PV-leistungsabhängig)
- Vergleich unterschiedlicher Steuerungsansätze oder auch Regelungsansätze (z. B. mit/ohne Speicher)

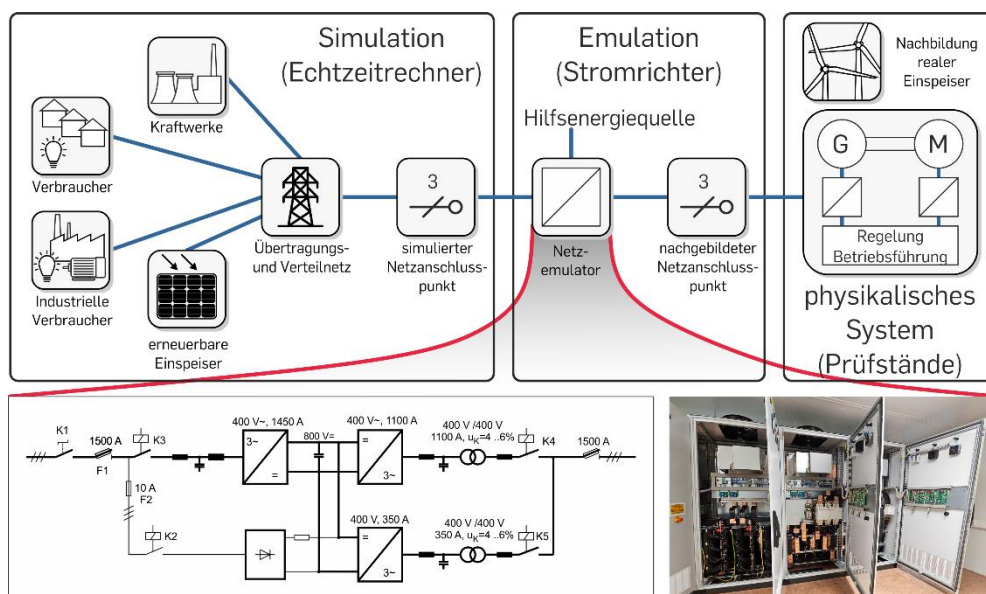
3) Konzipierung, simulative Validierung und Erprobung von Regelungsalgorithmen für ein Umrichtersystem zur Netzemulation (Kipke, Masterarbeit)

Die Windenergie gewinnt eine immer größere Bedeutung und wird zunehmend eine wichtige Säule der Energiewende. Netzintegration und Betrieb stellen jedoch aufgrund der stochastischen Einspeiseleistung zusammen mit weiteren fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen eine Herausforderung dar.

Um das Wechselspiel zwischen Windpark und Netz praktisch zu untersuchen, wird ein bestehendes echtzeitfähiges Netzmodell eingesetzt, welches über einen Netzemulator mit einem labormaßstäblichen Windpark verbunden werden kann. Der Netzemulator besteht aus einem leistungsfähigen 1-MVA-Stromrichter, welcher die Grundfrequenz wie auch harmonische Anteile generieren kann. Im Fokus der Arbeit steht die Erarbeitung eines Konzepts für die Regelung des Netzemulators sowie die simulative Validierung und Umsetzung zur experimentellen Erprobung. Die Implementierung erfolgt auf Mikrocontroller- und FPGA-basierten Regelungssystemen, wobei auf bestehende Softwarekomponenten zurückgegriffen werden kann.

Das Netzmodell wird auf einem Echtzeitrechner ausgeführt, welcher über I/O-Schnittstellen verfügt, um Führungs- und Messgrößen zum Stromrichter übertragen zu können und somit die Kopplung zwischen simuliertem Modell und vorhandener Hardware herzustellen. Dieser Ansatz wird auch als Power Hardware In The Loop (PHIL) bezeichnet.

Diese Arbeit ermöglicht eine detaillierte Recherche im Bereich der Netzmodellierung, den umfassenden Umgang mit Matlab/Simulink sowie mit einem modernen Multi-Core Echtzeitsimulator.



4) **Intelligente Regelung von Photovoltaikanlagen zur Netzstabilisierung (Vößing, Bachelor-/ Masterarbeit)**

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird die Regelung von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) zur Netzstabilisierung bei zunehmender dezentraler Energieerzeugung untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf Droop-Regelungen und virtuellen Synchronmaschinen (VSM) sowie deren Wechselwirkungen mit dem Stromnetz.

Ziel ist die Entwicklung und Implementierung von Regelungsstrategien, die die Netzstabilität fördern und die Integration von PV-Anlagen optimieren. Dabei werden die Reaktionen der PV-Anlagen-Regelungen auf Netzfehler, Änderungen der Kurzschlussleistung, Phasenwinkel und Frequenz analysiert.

Diese Arbeit umfasst Analysen sowie Recherchearbeit über die relevanten Algorithmen, die Implementierung und das Testen des ausgewählten Algorithmus. Durch diese methodische Herangehensweise wird eine umfassende Untersuchung der Regelungsstrategien und ihrer praktischen Anwendbarkeit ermöglicht.

5) **Praxisprojekte und Abschlussarbeiten zum Themenbereich Energiemanagement für Gebäude und Quartiere mit dezentraler Energieversorgung (Betreuung durch verschiedene Mitarbeiter des Instituts, Hauptansprechperson: Tourou)**

Dieser Themenbereich bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten für Abschlussarbeiten. Mögliche Ziele eines Energiemanagements reichen von der Optimierung des Eigenverbrauchs bis zu netzstützenden Maßnahmen, wie beispielsweise die Bereitstellung von Regelleistung. Neben den technischen Fragestellungen sind oftmals auch wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen und zu untersuchen. Die folgende Auflistung bietet einen Überblick über mögliche Forschungsfragen und -ansätze:

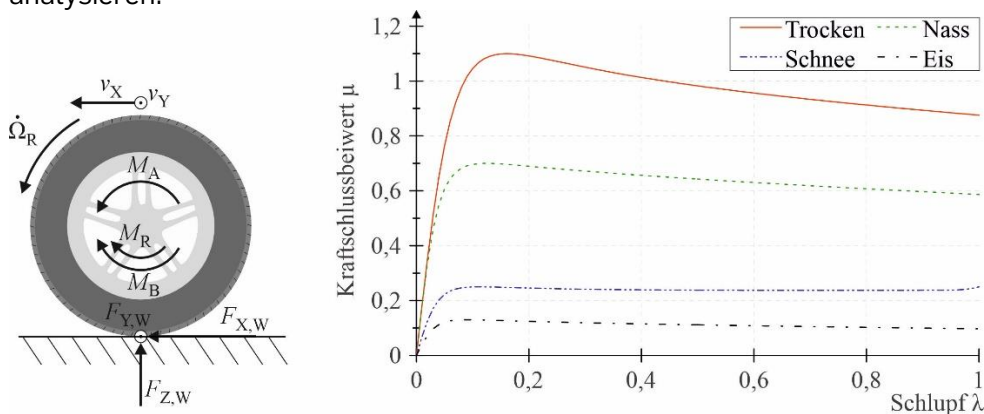
- Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden mit Photovoltaikanlagen, flexiblen Verbrauchern und Batteriespeichersystemen
- Optimiertes Zusammenspiel der Strom- und Wärmeversorgung (Sektorenkopplung) in Gebäuden und Quartieren
- Regelleistungsbereitstellung durch dezentrale Energieversorgungssysteme in Gebäuden und Quartieren
- Einfluss dezentraler Energieversorgungssysteme auf die Netzstabilität
- Integration von Elektrofahrzeugen in das Energiemanagement von Gebäuden und Quartieren
- Entwicklung und Bewertung von Energiemanagementsystemen für Smart Buildings unter Berücksichtigung von Last- und Erzeugungsvorhersagen

Bei Interesse an den genannten oder verwandten Fragestellungen sprechen Sie gerne den o. g. Hauptansprechpartner an.

5 Elektromobilität und Verkehrssysteme

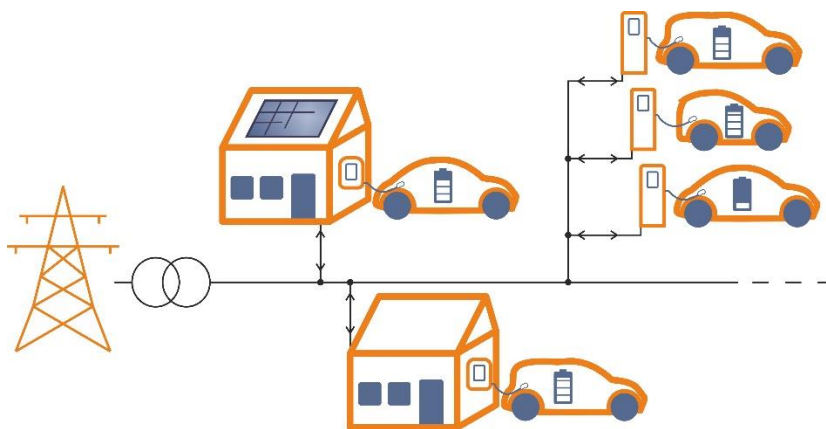
1) Entwurf und Analyse eines Beobachters zur Ermittlung des verfügbaren Kraftschlusses zwischen Reifen und Fahrbahn mit dem Ziel der Rekuperationsoptimierung (P. Spichartz, Masterarbeit)

Eine möglichst genaue Kenntnis des aktuellen Kraftschlusspotenzials zwischen Reifen und Fahrbahn kann zu einer Maximierung der Rekuperation unter Berücksichtigung der Bremsleistung und der Fahrzeugstabilität beitragen, insbesondere bei Elektrofahrzeugen mit nur einer Antriebsachse. Da der verfügbare Kraftschlussbeiwert nicht direkt messbar ist, muss er mit Hilfe eines Beobachters ermittelt werden. Im Rahmen der Arbeit soll dieser Beobachter nach einer Recherche von möglichen Verfahren entworfen, implementiert und in ein bestehendes Fahrzeugdynamikmodell zur Untersuchung der Rekuperation integriert werden. Durch Simulationen sind die Güte des Beobachters und die Wirksamkeit bzgl. der Rekuperationsoptimierung zu analysieren.



2) Untersuchung von Verfahren zur Netzstützung mit Hilfe von Elektrofahrzeugen (P. Spichartz, Bachelor-/Masterarbeit)

Elektrofahrzeuge stellen für die Versorgungsnetze einerseits eine zusätzliche Belastung dar. Andererseits können sie mit ihren Batterien auch zur Netzstützung beitragen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen bisher untersuchte und ggfs. bereits verwirklichte Verfahren analysiert werden. Dazu ist eine umfassende Recherche durchzuführen. Anhand von selbst festzulegenden Parametern/Gütekriterien sind die Verfahren zu kategorisieren und einer ersten Bewertung zu unterziehen. In der Masterarbeit soll darüber hinaus ein beispielhaftes System modelliert werden. Ein ausgewähltes Verfahren ist zu implementieren und Simulationsergebnisse sind auszuwerten.



6 Energiespeichersysteme

1) Auslegung, Aufbau und Inbetriebnahme eines resonanten bidirektionalen DC-DC Wandlers für Batteriespeichersysteme (L.Siepelmeier, D. Breuer, Masterarbeit, Bachelorarbeit)

Im Rahmen eines Forschungsprojekts soll ein modulares Energiespeichersystem entwickelt werden. Die elektrische Schnittstelle zwischen dem Hochspannungszwischenkreis und der Niederspannungsbatterie wird dabei durch einen DC-DC Wandler mit galvanischer Trennung realisiert. Dies ermöglicht zusammen mit einer resonanten Ansteuerung der Leistungselektronischen Schalter die Verlustleistung stark zu verringern. Ziel ist dabei eine Leistung von bis zu 5 kW in beide Richtungen zu übertragen, ohne eine aktive Kühlung der Schaltung zu verwenden.

Orientiert wird sich bei der Auslegung an einer vorgegebenen Schaltungstopologie, Bauteil-auswahl und Regelungssoftware.

Arbeiten innerhalb dieses Projektes umfassen die Studie von Schaltplänen, Bauteillisten und Platinenlayouts, die Beschaffung von Bauteilen für die gegebenen Schaltpläne, die Bestückung von Leiterplatten, die schrittweise Inbetriebnahme eines Prototypen, und Anpassungen der Platinenlayouts und der Leistungselektronik an verschiedene Spannungsebenen und Formfaktoren.

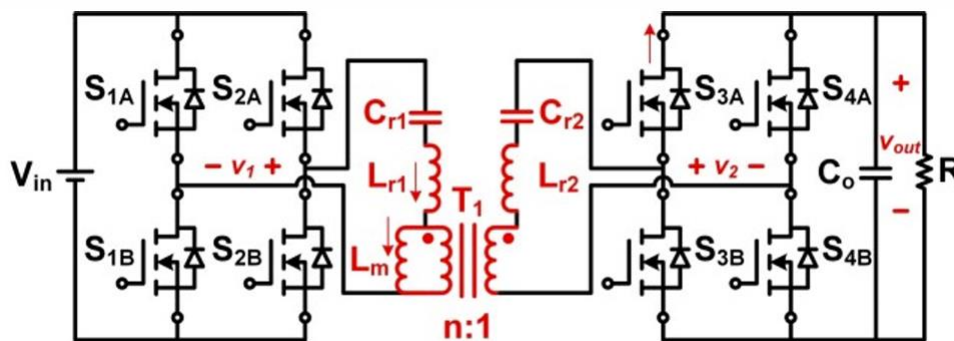
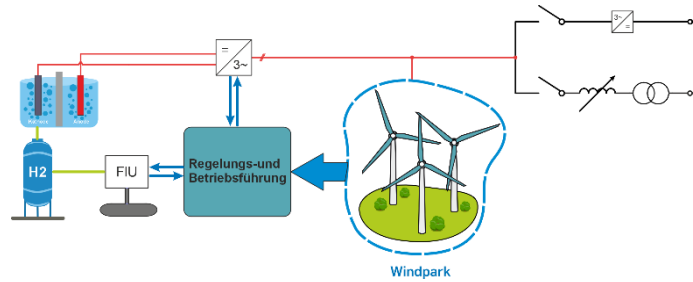


Abbildung 1: Vereinfachtes Ersatzschaltbild der Leistungseinheit eines CLLC-Wandlers [1]

[1] Yu, Sheng-Yang / Hsiao, Chris / Weng, Jack; A High Frequency CLLC Bi-directional Series Resonant Converter DAB Using an Integrated PCB Winding Transformer

2) Modellierung, Simulation und Nachbildung eines PEM-Elektrolyseurs (Siepelmeyer, Masterarbeit)

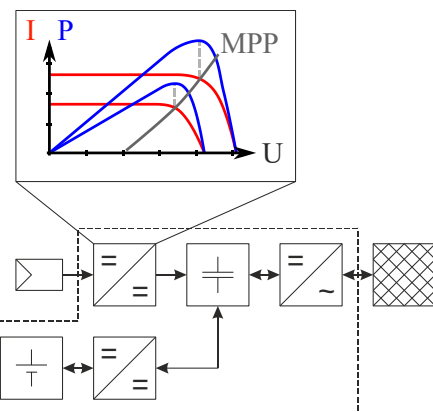
Zur Erhöhung der Durchdringung von Erneuerbaren Energien nicht nur im elektrischen Energiesektor, sondern im Gesamtenergiesektor ist die Herstellung von „grünem“ Wasserstoff unumgänglich. Eine sinnvolle Anwendung ist die Kopplung von hohen Leistungsgradienten von Wind-



und Solarenergie mit der Wasserstoffproduktion. So erhöht sich zum einen der Nutzungsgrad für die Betreiber der Energiewandler, als auch die Verträglichkeit mit dem elektrischen Netz, also geringere Kosten für die Netzinfrastruktur. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf im Bereich des Elektrolyseprozesses, da der Technologiereifegrad (TRL) für Systeme mit erhöhter Dynamik noch nicht die Serienherstellung erreicht hat.

Dazu soll im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Elektrolyseur mit 500 kW Leistung in die SwipLab-Infrastruktur integriert werden. Zur Vorbereitung soll im Rahmen dieser Arbeit sowohl die mathematische Modellierung eines PEM-Elektrolysestacks recherchiert werden als auch die Implementierung des Modells in die Simulationssoftware Matlab/Simulink erfolgen.

3) Entwicklung und Implementierung eines MPPT-Algorithmus für netzgebundene Batteriespeicher mit Photovoltaik-Eingang (Masterarbeit)



Zur optimalen Ausnutzung der durch Photovoltaikmodule gewonnenen elektrischen Energie muss die abgegebene Leistung durch eine kontinuierliche Optimierung des Arbeitspunkts, dem sogenannten Maximum Power Point Tracking (MPPT), variiert werden. Nach einer Recherche zum aktuellen Stand der Technik soll ein geeigneter MPPT-Algorithmus für einen Mikroprozessor implementiert werden. Der Algorithmus wird anschließend an einem netzgebundenen Batteriespeichersystem mit Photovoltaikeingang validiert. Dabei müssen Anlagenspezifische Eigenschaften, wie die zur Verfügung stehende Sensorik, Aktorik und Rechenleistung berücksichtigt werden.

4) Entwicklung und Implementierung eines redundanten energieeffizienten drahtlosen Kommunikationsprotokolls für ein Batteriemanagementsystem (Masterarbeit)

Ein Batteriemanagementsystem (BMS) für Li-Ion-Batterien muss die physikalischen Größen wie Spannung und Temperatur in einem Batteriesystem erfassen und verarbeiten. Klassische BMS benötigen eine Drahtverbindung zu jeder Zelle eines Batteriesystems. Zur Verringerung dieses Montageaufwands sollen die Messgrößen direkt an der Zelle erfasst und drahtlos kommuniziert werden. Um die Ausfallsicherheit dieser Kommunikation zu erhöhen, soll ein Kommunikationsprotokoll mit Redundanz entwickelt und implementiert werden, ähnlich wie es in Mesh-Netzwerken Verwendung findet. Ein Schwerpunkt dabei ist die Energieeffizienz. Das Protokoll wird zur Validierung in den Zell-BMS-Modulen eines vorhandenen Batteriespeichersystems implementiert und im Rahmen eines Laborversuchs an diesem realen System getestet.

