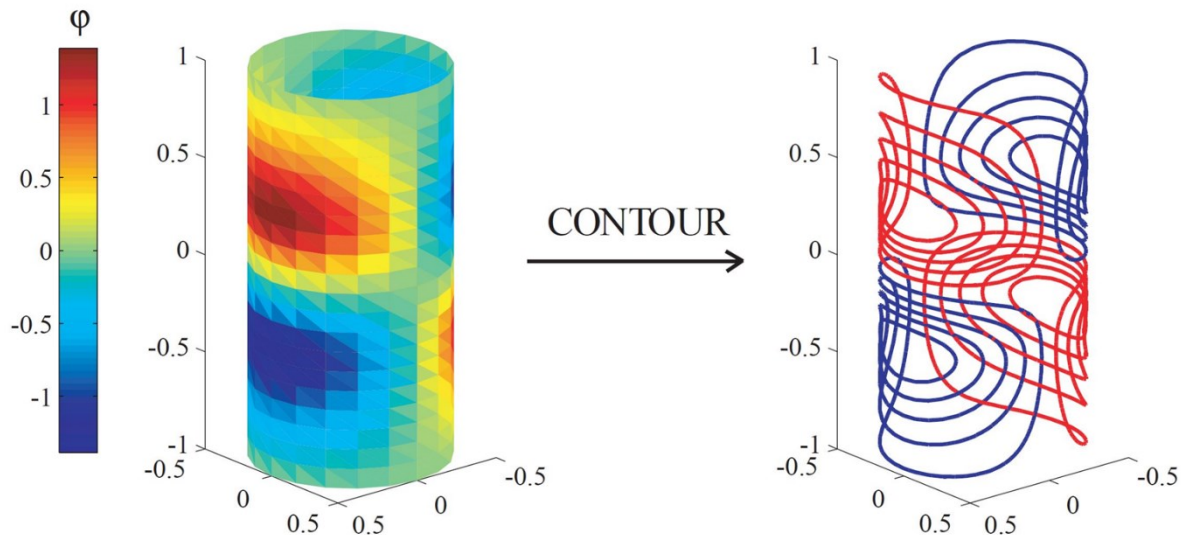


Forschungsprojektantrag für den Forschungsmaster Data Science

Projekttitel: **Machine-Learning-based Inverse Coil Design** –
Ersatzmodelle zur Beschleunigung meta-heuristischer Optimierungsverfahren



BIfAM
Bielefelder Institut
für Angewandte Materialforschung



Projektübersicht

Startsemester (von-bis)	WiSe2019/20-SoSe2021
Anzahl Studierende	1
Art (gefördertes Projekt, Projekt mit externen Partnern, Studienprojekt)	gefördert vom BMBF und der Fa. Miele
Projektverantwortung	Prof. Dr. Christian Schröder, Simon Bekemeier, M.Sc.
Projektkontext	Anstellung als WHK möglich

Kurzbeschreibung

Die berührungslose Übertragung von Energie mittels Induktion stellt ein hoch aktuelles und spannendes Forschungsthema dar. Abhängig von der zu übertragenden Leistung, findet man heutzutage eine Vielzahl von Anwendungen wie z.B. das Aufladen von Hochleistungsbatterien im Bereich der Elektromobilität, dem berührungslosen Erhitzen von Stoffen zum Schmelzen, Garen oder zur lokalen Tumorbekämpfung und der kombinierten Übertragung von Energie und Daten im Bereich RFID. Das zugrundeliegende physikalische Prinzip – die Entstehung elektrischer Felder aufgrund der zeitlichen Änderungen eines magnetischen Flusses – wurde vor fast 200 Jahren von Faraday, Henry und Ørstedt entdeckt, ist seither unter der Bezeichnung Induktionsgesetz bekannt. Die Möglichkeit mit Hilfe von Wechselfeldern auch über größere Distanzen Energie zu übertragen, ermöglicht aber nicht nur eine Vielzahl von interessanten Anwendungen, sie führt gleichzeitig zu einer Reihe fundamentaler Probleme in der technischen Umsetzung – und zwar unabhängig von der Art der Anwendung:

1. Die auftretenden – nicht nutzbaren – Streufelder wirken sich grundsätzlich nachteilig auf die Energieeffizienz, die Sicherheit und die elektromagnetische Verträglichkeit aus.
2. Inhomogenitäten in den erzeugten Feldern führen zu einem schlechten Wirkungsgrad bei der Energieübertragung und ungewünschten Effekten auf der Empfängerseite.
3. Aufgrund des Wechselstrombetriebs treten mechanische Kräfte auf, die sich z.B. beim Betrieb von Induktionskochfeldern als störende Geräusche bemerkbar machen oder in anderen Anwendungen sogar verschleißend und zerstörerisch wirken können.

Es besteht ein Handlungsbedarf, diesen Problemen mit neuen Konzepten zu begegnen, um damit die zukunftsweisende Technologie der induktiven Energieübertragung entscheidend weiterzuentwickeln. Im Projekt NanoInduktion wird dies am Beispiel einer aktuellen und weit verbreiteten Anwendung, dem Induktionskochfeld, durchgeführt.

Hierzu werden unterschiedliche Methoden zur Berechnung, Simulation und Optimierung von Magnetfeldern und den dazugehörigen Spulen, die sowohl das Sende-, als auch das Empfangssystem darstellen, untersucht. Ausgehend von einem definierten Magnetfeldverlauf auf der Empfängerseite soll mit Hilfe verschiedener Methoden diejenige Spulengeometrie ermittelt werden, die dieses Feld generiert. Analytische Verfahren zur Lösung dieses sogenannten inversen Problems sind bereits aus der Entwicklung von Magnetresonanztomografie-Scannern (MRT) bekannt, müssen jedoch für die induktive Energieübertragung im Allgemeinen oder speziell für die Entwicklung effizienter Induktionskochfelder angepasst werden. Alternativ hierzu wird die Verwendung direkter Verfahren auf Basis der Lösung des Biot-Savart Gesetzes in Kombination mit verschiedenen Optimierungsmethoden diskutiert. Die zum inversen Spulendesign eingesetzten, meta-heuristischen Optimierungsverfahren verbessern die Lösung des inversen Problems iterativ. Die dabei notwendigen Berechnungen der "Güte" der aktuellen Lösung müssen zunächst durch Simulationen des Spulendesigns erbracht werden. Der dazu notwendige Rechenaufwand und auch der damit verbundene Zeitbedarf entwickeln sich, je nach Komplexität der zugrundeliegenden Simulation, von Sekunden bis zu Minuten. Da für das gesamte Optimierungsverfahren bis zu mehrere Hunderttausend Iterationen notwendig sein können, erreicht der gesamte Zeitbedarf der Optimierung für komplexe Simulationen schnell impraktikable Größen.

Um den Zeitaufwand der Optimierung zu reduzieren, sollen im Forschungsprojekt NanoInduktion Machine Learning-basierte Methoden zum Einsatz kommen. Hierbei ist das Ziel, komplexe und zeitaufwändige physikalische Simulationen des Spulendesigns durch schnelle, Machine-Learning-basierte Ersatzmodelle zu ersetzen.

Aufgabenbeschreibung des Studierenden (eine pro Studierenden)

Problemstellung und Ziele der Teilaufgabe

Der Studierende soll in diesem Projekt zunächst eine geeignete Datenbasis schaffen, die genutzt werden kann, um den zugrundeliegenden Zusammenhang zwischen Spulendesign und der resultierenden Magnetfeldverteilung zu untersuchen. Dies geschieht auf Basis bekannter Simulationsmethoden. Dabei kann auf das bereits vorhandene Wissen der Wissenschaftler/innen des Forschungsprojekts NanoInduktion zurückgegriffen werden, d.h. in diesem Projekt sollen keine Methoden zur Simulation der physikalischen Phänomene neu entwickelt werden.

Des Weiteren sollen geeignete Methoden aus dem Bereich der Neuronalen Netze untersucht werden, um aus den vorliegenden Daten ein Modell für den Zusammenhang zwischen Spulendesign und der resultierenden Magnetfeldverteilung zu erhalten.

Bezug zum Thema Data Science

Zur Bearbeitung des Forschungsprojekts müssen eine geeignete Datenbasis (Trainings- und Evaluierungsdaten) geschaffen, sowie auf das Ziel sinnvoll anwendbare Methoden des maschinellen Lernens ermittelt und diese umgesetzt werden. Diese Anforderungen gehören zu den Kernthemen der Data Science und werden in den Veranstaltungen des Forschungsmasters behandelt.

Benötigte Ressourcen und Sicherstellung der Verfügbarkeit (Daten, Projektpartner, Hard-/ Software)

Expertise und Informationen aus dem physikalischen Anwendungskontext des Projekts werden von den Mitarbeitern des Forschungsprojekts NanoInduktion und der Arbeitsgruppe Computational Materials Science and Engineering (AG CMSE) von Prof. Schröder unterstützend zur Verfügung gestellt.

HPC Hardware und -Systeme für komplexe Berechnungen werden durch die AG CMSE zur Verfügung gestellt. In diesem Rahmen kann überdies Unterstützung bei der Nutzung des High Performance Computing Clusters der Arbeitsgruppe gegeben werden. Weitere HPC Ressourcen stehen über das PC² der Universität Paderborn zur Verfügung. Nach der Projektlaufzeit wird das Thema innerhalb des Forschungslabors mietetec an der FH Bielefeld weitergeführt. Die Mitarbeiter des mietetec stehen dann als Ansprechpartner zur Verfügung.

Grober Projektplan über die 4 Semester

Erstes Semester: Einarbeitung in den physikalischen Anwendungskontext und TensorFlow / Keras (inkl. GPU bzw. Cluster Computing, sowie bei Bedarf Python). Planung der zu generierenden Datenbasis. Erstellung eines Forschungsexposés (ist Prüfungsleistung).

Zweites Semester: Entwicklung einer Lösung zur automatisierten Generierung der benötigten Datenbasis. Recherche (und ggf. Evaluation) von Veröffentlichungen zur aktuellen Entwicklungen im Bereich Neuronaler Netze, die im Anwendungskontext relevant sind. Erste Anwendungen mit TensorFlow auf der eigenen Datenbasis. Erstellung eines wissenschaftlichen Artikels, der einen Überblick über das jeweilige Forschungsgebiet gibt (ist Prüfungsleistung).

Drittes Semester: Entwicklung Neuronaler Netze auf Basis der recherchierten Methoden zur Modellierung des Zusammenhangs zwischen Spulendesign und der resultierenden Magnetfeldverteilung. Erstellung eines wissenschaftlichen Artikels zu den ersten quantitativen Ergebnissen (ist Prüfungsleistung).

Viertes Semester: Untersuchungen zur Optimierung des Neuronalen Netzes und der Datenbasis insbesondere unter dem Aspekt der Datenreduktion und Beschleunigung. Dokumentation des Gesamtergebnisses unter Einbeziehung der Teilergebnisse aus den ersten drei Semestern. (Masterarbeit und Kolloquium)

Kriterien zur Überprüfung der Eignung der Bewerberin oder des Bewerbers

Zwingend: Programmierkenntnisse, vorzugsweise in Matlab

Optional: erfolgreich absolvierte Bachelor-Veranstaltungen im Kontext von Neuronalen Netzen bzw. Machine-Learning, Kenntnisse in Python und TensorFlow/Keras

Erwerbbarer Kompetenzen durch das Projekt

- Einsatz von Verfahren des Maschinellen Lernens
- Verwendung von TensorFlow/Keras
- Methoden der Optimierung und Datenreduktion
- Verfassen wissenschaftlicher Artikel
- Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse