TAG DER MECHATRONIK

27. OKTOBER 2021

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Liebe Kolleg:innen,
liebe Teilnehmer:innen,

wir freuen uns, dieses Jahr die Konferenz der Mechatronik Plattform an der FHV - Vorarlberg University of Applied Science ausrichten zu dürfen.

Ziel der Mechatronik Plattform Österreich ist die Nutzung von Synergien in Bereichen wie Ausbildung, Forschung und Entwicklung und die Förderung der Mechatronik an sich, die einen Zusammenschluss mechatronisch ausgerichteter FH-Studiengänge Österreichs repräsentiert. Von der intensiven Zusammenarbeit profitieren Studierende, Absolvent:innen, Lehrende und die Wirtschaft gleichermaßen.

Daher ist ein besonderes Highlight die Prämierungen der

- Besten Bachelorarbeit
- Besten Masterarbeit
- Besten Absolvent:innen-Karriere.

Diese Prämierungen spiegeln die außerordentlich gute Zusammenarbeit zwischen der Industrie und den Fachhochschulen wider.

Durch Vorträge, die einen Einblick in die Digitale Fabrik gewähren, wird außerdem aufgezeigt, wie die Fachhochschulen der Mechatronik Plattform am Puls der Zeit sind. Wie sehr wir versuchen mit den Entwicklungen mitzugehen, zeigt auch, dass diese Veranstaltung in Hybrid stattfindet. Dadurch ist eine persönliche Anwesenheit nicht erforderlich, erlaubt aber trotzdem das Dabei sein.

In der Hoffnung, dass wir uns bald alle wieder persönlich treffen können, wünsche ich Ihnen daher interessante Ein- und Ausblicke bei dieser Konferenz.

Dr. Ronald Mihala
Fachbereichsleiter Technik

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

TEILNEHMENDE STUDIENGÄNGE

CAMPUS 02 GRAZ
FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

KARRIERE?
VOLLAUTOMATISCH!

- **Bachelorstudiengang Smart Automation***
- **Bachelorstudiengang Automatisierungstechnik**
- **Masterstudiengang Automatisierungstechnik-Wirtschaft**

DAS STUDIUM AN DER SCHNITTSTELLE

Die Automatisierungstechnik verbindet Elektrotechnik, Informatik, Maschinenbau und Wirtschaft. Die Herausforderung bei der Automation technischer Prozesse liegt darin, zwischen den meist gegenläufigen Aspekten von Zeit, Kosten, Qualität, Ressourcen und Umwelt ein Optimum herzustellen.

Das **berufsbegleitende Bachelorstudium Automatisierungstechnik** ist stark interdisziplinär auf technisch operative Tätigkeiten ausgerichtet. Zusätzlich ermöglicht der hohe Anteil an Wahlfächern im Studium die ideale Verknüpfung von Beruf und Studium.

Das **Vollzeit-Bachelorstudium Smart Automation*** wird vollständig in englischer Sprache durchgeführt und ist auf unterschiedlichste Aspekte der Informatik und Elektronik fokussiert.

Das **Masterstudium Automatisierungstechnik-Wirtschaft** bildet Führungskräfte für die Wirtschaft aus. Ziel ist es, Management- und/oder Entwicklungstätigkeiten in bzw. für Unternehmen im In- und Ausland in hohem Maße eigenverantwortlich auszuführen.

Die Absolventinnen und Absolventen sind sowohl für große Industrieunternehmen als auch für die vielen Mittelbetriebe mit spezialisierten Produkten hoher technologischer Reife interessant.

STUDIUM UND BERUF

Den Studierenden wird ermöglicht, das Studium parallel zur beruflichen Tätigkeit zu absolvieren oder in diese einzusteigen. Berufserfahrung und berufliche Tätigkeit sind aber nicht erforderlich.

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

Studierende bearbeiten Aufgabenstellungen im Rahmen von Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten. Darüber hinaus werden für Unternehmen einerseits die klassische Auftragsforschung und -entwicklung, andererseits Projekte im Rahmen von Förderungen, maßgeblich von Lehrenden, abgewickelt.

Forschungsschwerpunkte:

- Industrielle Messtechnik und Messplatzautomatisierung
- Virtuelle Methoden und Simulation in der Entwicklung
- Prozessoptimierung mit SPS, RFID (Radio Frequency Identification) und mobilen Geräten
- Energietechnische Optimierung
- Entwicklung von Prototypen und Demonstratoren

* vorbehaltlich der Genehmigung durch die zuständigen Gremien

	BACHELORSTUDIENGANG Smart Automation*	BACHELORSTUDIENGANG Automatisierungstechnik	MASTERSTUDIENGANG Automatisierungstechnik-Wirtschaft
Organisationsform	Vollzeit, berufsermöglichend	Berufsbegleitend	
Studienbetrieb	Montag bis Mittwoch	Freitagnachmittag und Samstag	
Studienort	Graz		
Studienbeitrag	€ 363,36 pro Semester zuzüglich ÖH-Beitrag (dzt: € 20,20)		
Semesterstart	Mitte September bzw. Ende Februar		
Studienplätze/Jahr	25	43	33
Studiendauer	6 Semester (17 Wochen/Semester)		3 Semester (17 Wochen/Semester)
Abschluss	Bachelor of Science in Engineering, BSc		DiplomingenieurIn, Dipl.-Ing., DI
ECTS	180 Credits		90 Credits

Alle Termine und Detailinformationen finden Sie auf: www.campus02.at/at

FH CAMPUS 02: Körblergasse 126, 8010 Graz, Tel. 0316 6002-726, at@campus02.at

FH CAMPUS WIEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mit Technik können Sie viel bewegen.

Bachelorstudiengänge

- **Angewandte Elektronik**
- **Computer Science and Digital Communications**
- **High Tech Manufacturing**

Masterstudiengänge

- **Electronic Systems Engineering**
- **Green Mobility**
- **High Tech Manufacturing**
- **Technisches Management**

Join the OS.Car Racing Team
www.fh-campuswien.ac.at/oscar

Foto: OS.Car Racing Team

SYSTEMS

SYSTEMS ENGINEERING
BACHELOR | VOLLZEIT UND BERUFSBEGLEITEND

SYSTEMS DESIGN
MASTER | FULL-TIME, WORK-FRIENDLY SCHEDULE

Sie wollten schon immer wissen, wie ein Roboter funktioniert, an der Entwicklung der neuesten Flugzeugsysteme mitwirken oder ein vollautomatisch gesteuertes Automobil konzipieren? Smartphones und Tablets sind Geräte, die Sie neugierig machen? Die Fähigkeit, komplexe Systeme zu verstehen, zu entwickeln und zu fertigen, setzt eine neue Generation von TechnikerInnen voraus. Der Studiengang Systems Engineering bietet das ideale Studium dazu an.

STUDIENINHALTE

Systems Engineering kombiniert die Bereiche Mechanik, Elektronik und Informationsverarbeitung. Das Studium bietet eine umfassende technische Grundausbildung mit anschließender Spezialisierung in einem der zwei Studienzweige **Elektronik** und **Mechatronik.** Im Rahmen der Mechatronik kann zwischen den Schwerpunkten Automatisierung und Robotik gewählt werden.

Neben der technischen Ausbildung gibt es Lehrveranstaltungen aus den Bereichen Wirtschaft, Management und Sprachen. Wesentlicher Bestandteil des Studiums ist der konsequente Praxisbezug („**project-based learning**") in Lehrveranstaltungen, Laborübungen und im sogenannten Projektjahr. Praktische Fähigkeiten und theoretische Kenntnisse werden in einem eigenständigen Projekt vertieft. Im abschließenden Berufspraktikum wird das bisher Erlernte in einem betrieblichen Umfeld angewendet.

Weiterführender Master: Systems Design

BERUF UND KARRIERE

AbsolventInnen verfügen über die Fähigkeit, interdisziplinäre Problemstellungen zu lösen und Projekte fachübergreifend zu koordinieren.

Damit eröffnet sich ein weites Berufsfeld:
- Automatisierungstechnik
- Elektronik- und Fahrzeugtechnik
- Halbleitertechnik
- Umwelttechnik
- Regelungstechnik
- Robotik

Typische Tätigkeitsbereiche sind etwa die Entwicklung von elektronischen Systemen, Automatisierung und Regelung von Prozessen und Anlagen sowie deren Analyse und Optimierung.

SYSTEMS ENGINEERING

Abschluss:
Bachelor of Science in Engineering (BSc)

Studiendauer: 6 Semester (180 ECTS)

Studienplätze pro Jahr: 25

Vorlesungssprache: Deutsch

Organisationsform: VZ: Mo.–Fr. ganztags
BB: Mo., Mi. ab 17:40 Uhr, Fr. ab 16:00 Uhr, Sa. ganztags

Studienort: Campus Villach
Europastraße 4, 9524 Villach

SYSTEMS DESIGN

Academic Degree:
Master of Science in Engineering (MSc)

Duration: 4 semesters (120 ECTS)

Study places per year: 20

Language: English

Schedule: Tue., Thu., Sat.

Location: Campus Villach
Europastraße 4, 9524 Villach

KÄRNTEN University of Applied Sciences

KONTAKT: T: +43 5 90500-2002 | **M:** se@fh-kaernten.at | **W:** www.fh-kaernten.at/se

Automatisierungstechnik

Masterstudium, Vollzeit

Der verstärkte Einsatz der Automatisierungstechnik stellt einen wichtigen Erfolgsfaktor der österreichischen Wirtschaft dar. Nur durch fortschreitende Innovation und Automatisierungstechnik können die fertigungstechnischen Rationalisierungs-potenziale wirtschaftlich genutzt sowie die notwendige Qualität und Flexibilität in der Produktion gesichert werden, um auf einem globalen Markt erfolgreich zu sein.

Karriere

Automatisierungstechnik-Absolvent*innen sind in der Lage, Maschinen, Anlagen, Prozesse, Fertigungs- und Produktionssysteme sowie mess- und regelungs-technische Geräte und Systeme zu planen, herzustellen und zu optimieren. Diese Kompetenzen schließen den Umgang mit modernen Technologien wie z. B. Bildverarbeitung, Machine Learning oder Simulationswerkzeugen sowie den Einsatz von Roboter- und Handhabungstechnik mit ein. Durch die Ausbildung werden die Absolvent*innen zu Führungsaufgaben in den Bereichen Produktion, Qualitätssicherung, Forschung und Entwicklung sowie für alle Bereiche mit interdisziplinärem Charakter befähigt. Sie finden einen ausgezeichneten Arbeitsmarkt mit interessanten Jobangeboten quer durch alle Branchen vor.

Themen

- Leit- und Steuerungstechnik, Sicherheitstechnik
- Regelungstechnik, Höhere Mathematik
- Industrielle Bildverarbeitung und IT
- Wahlmodule aus den Bereichen: Industrieautomatisierung, Robotik, Digitalisierung, Signalverarbeitung und Machine Learning
- Produktionsmanagement und Betriebswirtschaftslehre, Führungskompetenz

Praxis und Forschung

Neben der praxisnahen Ausbildung wird großes Augenmerk auf die Forschung gelegt. Viele Studierende arbeiten bereits während des Studiums und auch danach als wissenschaftliche Mitarbeiter in den Forschungsbereichen Bahn-automation, Multiphysikalische und mechanische Simulation, Elektromobilität, Computertomografie, Aktive Thermografie, Autonome Systeme.

International studieren

Automatisierungstechniker*innen können im Rahmen ihres Masterstudiums Auslandserfahrung sammeln. Ein Praktikum bei einem internationalen Konzern oder ein Auslandssemester bei einer der 100 Partnerhochschulen bringt die Studierenden rund um die Welt.

Kurzprofil

Akademischer Abschluss:
Diplom-Ingenieur/Diplom-IngenieurIn für technisch-wissenschaftliche Berufe
(DI oder Dipl.-Ing.)

Studiendauer:
4 Semester (120 ECTS)

Zahl der Studienplätze je Studienjahr:
17

Zugangsvoraussetzung:
Abschluss eines mindestens 6-semestrigen einschlägigen Bachelorstudiums oder eines höherwertigen Hochschulstudiums entsprechender Fachrichtung

Bewerbung:
Online bis spätestens 30. Juni:
www.fh-ooe.at/application

Kosten:
€ 363,63 pro Semester + ÖH-Beitrag für Studierende aus EU- und EWR-Staaten

www.fh-ooe.at/at-ma

Kontakt

Studiengangsleiter:
FH-Prof. DI Dr. Burkhard Stadlmann
Studiengangsadministration:
Elisabeth Brandt

FH Oberösterreich, Fakultät für
Technik und Umweltwissenschaften
Stelzhamerstrasse 23, 4600 Wels/Austria
Tel.: +43 5 0804 43012
Email: sekretariat.at@fh-wels.at
Inet: www.fh-ooe.at/at-ma

FACHHOCHSCHULE
WIENER NEUSTADT
Austrian Network for Higher Education

Perspektiven durch Praxis!
fhwn.ac.at

MECHATRONIK | MIKROSYSTEMTECHNIK

Die FH Wiener Neustadt ist eine der Top-Fachhochschulen Österreichs. Sie bietet gegenwärtig mehr als 3.600 Studienplätze in aktuell 34 Bachelor- & Masterstudien in deutscher & englischer Sprache an. Mehr als 300 MitarbeiterInnen und 1.330 ReferentInnen sorgen für die hohe Praxisrelevanz der Ausbildung und einen modernen und effizienten Lehrbetrieb.

Das **Bachelorstudium „Mechatronik I Mikrosystemtechnik“** umfasst die spannende Mischung aus Maschinenbau, Elektronik und Informatik und deckt den gesamten Innovations- & Entwicklungsprozess ab. Neben der technischen Ausbildung erhalten Sie auch Einblicke in wirtschaftliche Zusammenhänge, Projektplanung & -management sowie Kommunikations- & Präsentationstechnik. Inhalte, welche Ihnen in Zukunft von großem Nutzen sein werden.

Das berufsermöglichende **Masterstudium „Mechatronik“** vermittelt eine vertiefte fachliche Ausbildung zur Entwicklung und Optimierung von mechatronischen Produkten und Systemen. Besondere Berücksichtigung finden dabei computergestützte Methoden sowie ökonomische und ökologische Aspekte in der Auslegung und Umsetzung. Der hohe Projekt- & Praxisanteil – Aufgabenstellungen direkt aus Ihrem Unternehmen – ermöglicht es in geradezu idealer Art und Weise, Beruf und Studium zu vereinen.

HIGHLIGHTS

- Ausbildungskooperationen mit internationalen Unternehmen und Forschungszentren
- Praxis ab dem 1. Semester sowie Einbindung in aktuelle Industrie- & Forschungsprojekte
- Exzellente Infrastruktur (Hard- und Software)
- My Lab – Platz für Innovation
- Top Referenten aus Industrie & Forschung
- Individuell & effizient studieren in Kleingruppen
- Management- & Führungsausbildung

SHORTFACTS BACHELOR

DAUER
6 Semester

ECTS
180, Organisationsform: Vollzeit

SPEZIALISIERUNGEN
Engineering Management
Luft- und Raumfahrt
Mechatronic Systems Design
Micro- & Nanoengineering

SHORTFACTS MASTER

DAUER
4 Semester

ECTS
120, Organisationsform:
Berufsermöglichend

SPEZIALISIERUNGEN
Additive Manufacturing
Computational Engineering
Mechatronic Systems

Mechatronik am MCI

Praxisorientiertes Studium mit besten Zukunftsperspektiven

Bachelorstudium Mechatronik

6 Semester | Vollzeit | Deutsch, Englisch | Abschluss: BSc

Studienschwerpunkte Kernstudium

- Modellierung
- Regelungs- & Automatisierungstechnik
- Programmieren
- Antriebstechnik
- Robotik
- Produktentwicklung
- Management & Schlüsselkompetenzen

Studienzweig Elektrotechnik

- Leistungselektronik
- Kommunikationstechnik
- Embedded Systems
- Hochfrequenztechnik

Studienzweig Maschinenbau

- CAD/CAM
- Fertigungstechnik
- Handhabungstechnik
- Werkzeugmaschinen
- Strömungsmaschinen

Masterstudium Mechatronics & Smart Technologies

4 Semester | Vollzeit (Englisch), berufsbegleitend | (Deutsch, Englisch) | Abschluss: MSc

Studienschwerpunkte Kernstudium

- Simulation
- Regelungstechnik
- Robotik
- Entwicklungsprojekt
- Management & Leadership

Studienzweig Elektrotechnik

- Antriebssysteme
- Embedded Computing
- Transiente Simulation

Studienzweig Maschinenbau

- Hydraulik und Pneumatik
- Mehrkörpersimulation
- Handhabungstechnik

Das MCI | Die Unternehmerische Hochschule® steht für qualitätsorientierte, praxisnahe und international ausgerichtete Studienangebote und akademische Weiterbildung. Gemeinsam ist jedem MCI-Studium der hohe Praxisbezug, ein optimaler Mix von internationalen Dozentinnen und Dozenten aus Wissenschaft und Wirtschaft, die starke Projektorientierung, das optionale Auslandssemester, die Möglichkeit zu Praktika in aller Welt und die sprichwörtliche MCI-Serviceorientierung. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft sind MCI-Absolventen am Arbeitsmarkt besonders gefragt.

Premium accredited

Member of Ulysseus EUROPEAN UNIVERSITY

www.mci.edu

MCI® DIE UNTERNEHMERISCHE HOCHSCHULE

FHV - PRAXISNAH UND FORSCHUNGSSTARK

Vorarlberg zählt zu den wirtschaftlich leistungsfähigsten europäischen Räumen. Die regionale Wirtschaft bietet eine hohe Branchenvielfalt, die spannende Möglichkeiten für praxisorientierte Projekte, Berufspraktika und vielfältige Jobchancen schafft.

STUDIEREN UND FORSCHEN

Studium und Forschung an der FH Vorarlberg sind eng verknüpft. Dabei werden im Rahmen von international eingebetteten Forschungsprojekten offene Fragestellungen für regional agierende Unternehmen bzw. Institutionen ebenso wie für international tätige Unternehmen gelöst. Je nach Projektlage und persönlichem Interesse und Engagement haben Studierende die Möglichkeit, in den Forschungszentren als Studienassistentin und Studienassistent oder als Projektmitarbeiterin und Projektmitarbeiter an konkreten Forschungsaufgaben mitzuarbeiten.

TECHNISCHE STUDIEN AN DER FH VORARLBERG

www.fhv.at/technik

BACHELOR-STUDIENGÄNGE:

- Mechatronik
- Mechatronik – Maschinenbau
- Elektrotechnik Dual
- Informatik – Software and Information Engineering
- Informatik – Digital Innovation
- Umwelt und Technik
- Wirtschaftsingenieurwesen

MASTER-STUDIENGÄNGE:

- Mechatronics
- Nachhaltige Energiesysteme
- Informatik
- Wirtschaftsinformatik -Digital Transformation*

DAS MASTERSTUDIUM MECHATRONICS:

- Vollzeitstudium, 4 Semester (120 ECTS), ergänzende berufliche Tätigkeit (geringfügig) möglich
- Spezialisierung in drei von sechs Vertiefungsrichtungen: Sensorsysteme und Antriebe, Eingebettete Systeme, Robotik, Numerische Struktur- und Strömungssimulation, Produktionstechnologien, Mikro- und Nanotechnologie
- Double Degree in Kooperation mit der University of Agder (Norwegen) möglich
- Einzigartiges Kontextstudium

*Arbeitstitel; vorbehaltlich der Akkreditierung durch die AQ Austria; geplanter Studienstart im Wintersemester 2022

WAHLMODULE DES MASTERSTUDIUMS MECHATRONICS

Studierende legen individuell die Fächer der ersten drei Semester fest und wählen vor Beginn des Studiums drei aus sechs Spezialisierungen. Je nach Vorkenntnissen bietet sich optional die Chance, studiengangsübergreifend ein Modul aus einem anderen technischen Masterstudiengang an der FH Vorarlberg zu wählen.

Studierende haben freien Zugang zu technischen Labors – an sieben Tagen der Woche für 24 Stunden! Auch für eigene Projekte!

FH Vorarlberg
CAMPUS V
Hochschulstraße 1
6850 Dornbirn, Austria
www.fhv.at

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Einreichungen
BACHELORARBEITEN

FH CAMPUS02: AUTOMATISIERUNG EINES ANIONEN AUSTAUSCHMEMBRAN TESTSTANDES FÜR ELEKTROLYSEZELLEN

Joshua Eder

Kurzfassung: *Die Arbeit beschäftigt sich mit einer äußerst vielversprechenden und zukunftsweisenden Technologie zur Erzeugung von erneuerbarem „grünen" Wasserstoff, der AEM (Anion Exchange Membrane) Elektrolyse. Um derartige AEM Einzelzellen testen und mittels Impedanzspektroskopie charakterisieren zu können, wurde ein Teststand entwickelt. Im theoretischen Teil werden die Grundlagen und die Vorteile der AEM Elektrolyse gegenüber bestehenden Verfahren erläutert. Der praktische Teil behandelt Messungen an einer Prototypenzelle. Ziel der Messungen war es, die Temperaturabhängigkeit des Innenwiderstandes der Zelle zu analysieren.*

Schlüsselwörter: *AEM Elektrolyse, Wasserstoffherstellung, Impedanzspektroskopie, Wasserstoff, Polarisierungskurve, Innenwiderstand*

1. EINLEITUNG

Um erneuerbaren Wasserstoff als Energieträger der Zukunft zu etablieren, darf seine Herstellung nicht mit der Emission klimaschädlicher Gase einhergehen. Eine Möglichkeit zur emissionsfreien Herstellung von erneuerbarem H_2 stellt die Wasserelektrolyse dar. Eine vielversprechende Elektrolysetechnologie ist die AEM (Anion Exchange Membrane) Elektrolyse. Sie wird mit KOH (Kaliumhydroxid) in niedrigen Konzentrationen oder mit reinem Wasser gespeist. Ihr großer Vorteil gegenüber anderen Bauarten ist die Nutzung von kostengünstigem und leicht verfügbarem Nickel als Katalysator anstelle von Platin und Iridium, wie in der PEM (Polymer Elektrolyt Membran) Elektrolyse üblich. Die AEM beherbergt quartäre Ammoniumverbindungen, die den Ladungstransfer gewährleisten. Sie sind kostengünstiger als die auf Nafion® basierenden Membranen einer PEM Zelle. Des Weiteren kann die AEM Elektrolyse mit weit geringeren KOH Konzentrationen als herkömmliche alkalische Elektrolyseure betrieben werden. Durch die gasdichte Membran werden die Produktgase getrennt und der Wasserstoff kann mithilfe der elektrochemischen Kompression unter Druck hergestellt werden, wodurch der Aufwand für nachfolgende Kompressionsarbeit reduziert wird. Aufgrund dieser Vorteile ist es möglich, die Elektrolyse wesentlich wirtschaftlicher zu betreiben. Es lohnt sich daher, die AEM Technologie weiter zu erforschen und voranzutreiben. (Vgl. Vincent/Bessarabov 2017)

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Ein Prüfstand zum Betreiben und Charakterisieren von AEM Elektrolysezellen soll aufgebaut und programmiert werden. Anschließend sind Widerstandskennlinien einer Prototypenzelle zu erfassen und die Temperaturabhängigkeit des Innenwiderstandes soll analysiert werden. Eventuelle Degradierungserscheinungen an der Membran bei hohen Temperaturen sind zu untersuchen und zu quantifizieren.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die Methode der Impedanzspektroskopie ist ein Verfahren, um elektrochemische Prozesse erfassen, beschreiben und quantifizieren zu können. Dazu wird der Prüfling an eine Wechselspannung angeschlossen und die Impedanz über ein Frequenzspektrum (mHz - kHz) gemessen. Dargestellt werden die Ergebnisse in Bode oder Nyquist Diagrammen. Da die Zelle aufgrund ihres Schichtaufbaus ein kapazitives Verhalten zeigt, wird zur einfacheren Lesbarkeit in der Nyquist Darstellung der imaginäre Anteil in den ersten Quadranten gespiegelt. Die Zelle wird von einer Schlauchpumpe versorgt. Ein Durchlauferhitzer in der Zulaufleitung sorgt für eine konstante Eintrittstemperatur in die Zelle. Weitere Spezifikationen des Prüfstandes:

- Elektrolyttemperatur bis 80 °C
- Druckfestigkeit bis 50 bar (rel.)
- Elektrolyt: KOH, Konzentration bis 1 Mol·l^{-1} oder deionisiertes Wasser bei Volumenströmen bis 150 ml·min^{-1}
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie der Zelle ± 30 A bis 300 kHz

4. THEORETISCHER HINTERGRUND UND SIMULATION

Die elektrochemische Spaltung von Wasser in der Elektrolysezelle benötigt hohen Energieaufwand. Um die Reaktion unter adiabatischen Bedingungen zu ermöglichen, muss der Brennwert des Wasserstoffs in Form von elektrischer Energie zur Verfügung gestellt werden. Die Reaktionsgleichung der stattfindenden Reaktion lautet:

$$H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2 \qquad \Delta_R H = 286 \text{ kJ·mol}^{-1}$$

$\Delta_R H$ ist der theoretische Energieeinsatz, der notwendig ist, um aus einem kmol Wasser ein kmol Wasserstoff zu gewinnen. In der Realität wird mehr Energie benötigt, da Verluste in der Zelle kompensiert werden müssen. Der innere Schichtaufbau einer Elektrolysezelle ist in (Abb. 1) ersichtlich. Man sieht die Membran, die Katalysatorschichten sowie die Gasdiffusionsschichten. Man kann das elektrische Verhalten dieses Schichtaufbaus als zwei RC Glieder in Serie mit dem Membranwiderstand beschreiben.

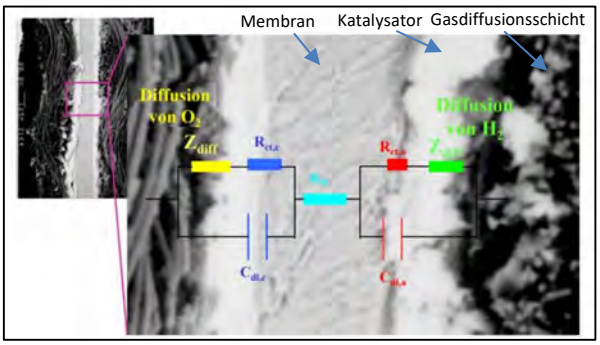


Abb. 1: Zellaufbau mit Ersatzschaltbild (Wagner 2012)

(Abb. 2) zeigt das vereinfachte Ersatzschaltbild, mit dem in weiterer Folge eine Simulation durchgeführt wird, um das

Verhalten der Zelle abschätzen zu können. Der Gesamtwiderstand wird rechnerisch zu:

$$\underline{Z} = \frac{1}{\frac{1}{R1}+j\cdot\omega\cdot C1} + R2 + \frac{1}{\frac{1}{R3}+j\cdot\omega\cdot C2}$$

$R1$ / Ω Widerstand
$C1$ / F Kapazität
$R2$ / Ω Widerstand
$C2$ / F Kapazität
$R3$ / Ω Membran-widerstand
j / 1 Imaginäre Einheit
ω / s^{-1} Kreisfrequenz
$\underline{Z}$ / Ω Gesamtimpedanz

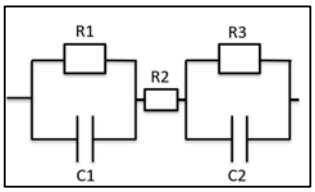


Abb. 2: Ersatzschaltbild der Elektrolysezelle

Das Ersatzschaltbild in (Abb. 2) wird in einem Frequenzbereich von 0 – 100 kHz simuliert. Das Ergebnis ist in (Abb. 3) dargestellt. Hohe Frequenzen sind im Diagramm links und niedrige rechts angesiedelt. Es ist zu erkennen, dass in Abhängigkeit von der Frequenz verschiedene Teile der Schaltung dominant werden. Der Kondensator mit der kleinen Kapazität hat bei größeren Frequenzen seine maximale Impedanz (erster Halbkreis). Der Kondensator mit der großen Kapazität hat bei niedrigeren Frequenzen seine maximale Impedanz (zweiter Halbkreis).

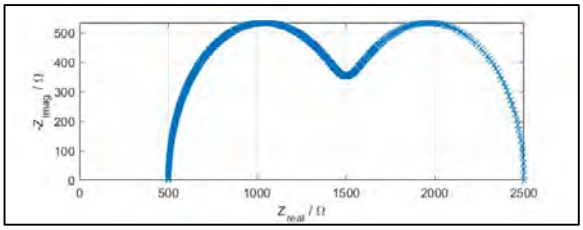


Abb. 3: Simulation der Ersatzschaltung

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Simulation wurden mit realen Messergebnissen verglichen (Abb. 4).

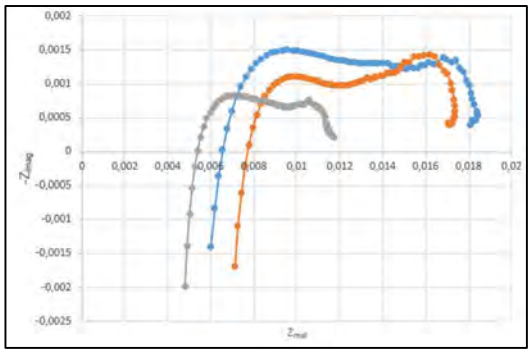


Abb. 4: Messergebnis
Blaue Kurve: EIS bei 40 °C, graue Kurve: EIS bei 80 °C, orange Kurve: EIS bei 40 °C nach thermischer Belastung.

Die blaue Kurve beschreibt die Impedanz bei 40 °C Arbeitstemperatur. Man kann im hochfrequenten Bereich einen Halbkreis erkennen, der charakteristisch für ein RC-Glied ist. Im niederfrequenten Bereich rauscht das Messergebnis weit mehr und es gibt keinen zweiten Nulldurchgang. Dennoch kann man hier einen Halbkreis interpretieren und auf ein RC-Glied schließen. Die Nulldurchgänge im hochfrequenten Bereich sind repräsentativ für den Membranwiderstand. Es ist klar zu erkennen, dass der Nulldurchgang bei 80 °C einen geringeren Widerstandswert hat als bei 40 °C. Jedoch wurde die Membran durch die hohe Temperatur stark belastet. Der Widerstand bei erneuter Messung bei 40 °C ist um 0,00122 Ω·cm^{-2} gestiegen (orange Kurve). Das bedeutet, dass in der Membran bei hohen Temperaturen Degradierungserscheinungen auftreten.
Die Polarisierungskurve in (Abb. 5) zeigt die Performance der Zelle bei Arbeitstemperatur. Je näher die Zellspannung an der Nernstspannung liegt, desto effizienter ist der Vorgang, weil weniger Widerstände Verluste verursachen. Bei einer Stromdichte von 0,2 mA·cm^{-2} hat die Zelle einen Spannungswirkungsgrad bezogen auf den Brennwert von 78 %.

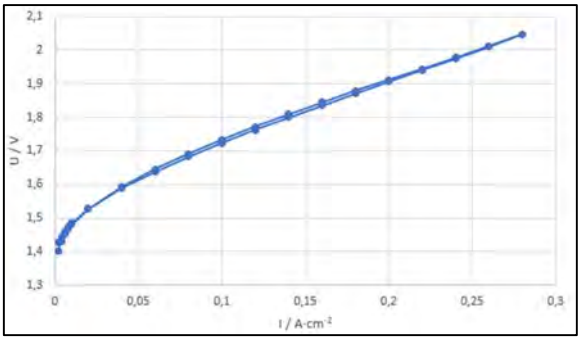


Abb. 5: Polarisationskurve bei Arbeitstemperatur

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Eine hohe Betriebstemperatur verringert den Widerstand der Zelle und verbessert die Performance. Eine längerfristige Temperaturbelastung führt zu Alterung und in weiterer Folge zu einer Vergrößerung des Widerstandes der Zelle. Die richtige Arbeitstemperatur ist so zu wählen, dass die Zelle eine gute Performance liefert, aber keine langfristigen Schäden in Form von Widerstandserhöhungen und Degradation erleidet. Die optimale Temperatur für die verwendete Membran und eine Lebensdauer-Betrachtung sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.
AEM Zellen haben das Potenzial, die Elektrolysetechnologie der Zukunft zu werden. Vor allem die wesentlich günstigere Herstellung, die vergleichsweise gute Performance und die Möglichkeit mit ihnen eine Hochdruckelektrolyse betreiben zu können, sprechen für sie.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Vincent, Immanuel; Bessarabov, Dmitri (2017): *Available from:* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117309127?via%3Dihub *Accessed:* 2021-04-05.

Wagner, Norbert (2012): DLR *Available from:* https://elib.dlr.de/89946/1/DLR_Wagner_EIS_Grundlagen_und_Anwendungen.pdf *Accessed:* 2021-04-05.

AUTOR

Joshua Eder, Bsc
HyCentA Gmbh, Inffeldgasse 15, 8010 Graz,
+43 677 61616407, s50048@edu.campus02.at

2017 – 2020 System Designer Mechanics bei der AVL List Gmbh
2021 – Heute: Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der HyCentA Gmbh
2018 – 2021: FH Campus 02 Bachelor Automatisierungstechnik berufsbegleitend
2021 – Heute: FH Campus 02 Master Automatisierungstechnik – Wirtschaft berufsbegleitend

FH CAMPUS 02: IMPLEMENTIERUNG EINES CODEGENERATORS FÜR DIE SPS-ENTWICKLUNGSUMGEBUNG TIA PORTAL

Daniel Schwaiger

Kurzfassung: *Neue Technologien in der Automobilbranche und umfangreichere Projekte erfordern ein erhöhtes Arbeitspensum der Mitarbeiter*innen eines Automatisierungstechnikteams im Unternehmen AVL. Damit sich die Mitarbeiter*innen auf wesentliche Aufgabenbereiche konzentrieren können, liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Minimierung der monotonen Tätigkeiten sowie der Erhöhung der Produktivität. Erreicht werden soll dies durch die automatisierte Quellcodeerstellung für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), die mit der Entwicklungsumgebung Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) programmiert werden. Zu diesem Zweck wird eine Literaturrecherche, die die Grundlagen der Softwareentwicklung und die für die Implementierung relevanten Grundlagen der Codegenerierung behandelt, durchgeführt. Darauf aufbauend wird ein auf C# basierender und auf das Unternehmenssystem bezogener Codegenerator entworfen, der automatisiert SPS-Softwarefragmente erzeugen kann. Anhand simulierter Generierungsfälle erfolgt eine Evaluierung des erstellten Codegenerators.*

Schlüsselwörter: *Codegenerierung, SPS, TIA Openness, XML*

1. EINLEITUNG

AVL ist eines der führenden Unternehmen im Bereich der Entwicklung, Testung und Simulation von Antriebssystemen. Ein Kernbereich des Unternehmens beschäftigt sich mit der Entwicklung von Prüfstandsystemen, die eine geeignete Infrastruktur hinsichtlich der gebäude- sowie prozesstechnischen Anlagen voraussetzen. Am Standort Graz erfolgt die Automatisierung dieser Anlagen mit SPSen der Marke Siemens und der Entwicklungsumgebung TIA Portal. Um die Bearbeitungszeit der SPS-Programmerstellung zu verkürzen, soll mittels eines auf das Unternehmenssystem bezogenen und auf C# basierenden Codegenerators eine Anhebung des Programmierstandards erreicht werden. Als Grundlage für die Entwicklung des Codegenerators erfolgt eine Literaturrecherche auf dem Themengebiet der Softwareentwicklung und der für die Implementierung relevanten Bereiche der Codegenerierung.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Eine sich im Wandel befindende Automobilbranche sowie stetig umfangreichere und komplexere Anlagen ziehen ein erhöhtes Arbeitspensum nach sich und erfordern zusätzliches Fachpersonal, das jedoch nur schwer zu finden ist. Zudem ähneln sich die Anlagen im Unternehmen projektübergreifend stark, wodurch ein großer Anteil der Projektbearbeitungszeit auf monotone Routineaufgaben entfällt. Diese Routineaufgaben erfolgen im Softwareentwicklungsprozess meist mit dem Copy-Paste-Verfahren, das speziell bei umfangreichen Programmen eine hohe Konzentrationsfähigkeit erfordert. Eine daraus resultierende Konsequenz ist eine erhöhte Fehleranfälligkeit seitens der Mitarbeiter*innen, was die Softwarequalität des Endproduktes mindert. Eine Erhöhung der Produktivität der Mitarbeiter*innen sowie der Softwarequalität soll mit der automatisierten Erzeugung von SPS-Softwarefragmenten erreicht werden. Konkret handelt es sich dabei um Variablentabellen, Funktionsblöcke und Datenbausteine. Mit TIA Portal Openness stellt Siemens eine auf C# basierende Programmierschnittstelle zur Anbindung externer Engineering-Tools zur Verfügung, die die Quellcodegenerierung aufgrund von XML-Dateien ermöglicht. Mittels C# und Openness soll ein Softwareprodukt entwickelt werden, das die Schnittstelle zwischen SPS-Programmierer*in und TIA Portal bildet und eine Quellcodeerstellung anhand von Parametrierung anstatt Programmierung ermöglicht.

3. METHODEN

Codegeneratoren sind Programme, die auf Basis von textuellen Vorlagen oder grafischen Modellen, automatisiert Quellcode erzeugen. Dabei stehen die Qualität des erzeugten Codes und die Qualität der Vorlage in direktem Zusammenhang. Die Voraussetzung für die Entwicklung eines hochwertigen Generators kann nur durch einen soliden Softwarestandard im Unternehmen gegeben sein (Klar, Klar 2006). Die Domänenanalyse ist eine Methode zur Ermittlung wiederverwendbarer Artefakte der entsprechenden Domäne. Das Ziel der Analyse besteht darin, Informationen und Daten so aufzubereiten, dass diese für den Codegenerierungsprozess verwendet werden können. Das Ergebnis der Analyse wird durch das Domänenmodell dargestellt. Dieses grenzt den Umfang der Domäne ab, beschreibt deren Inhalt, definiert die Fachsprache, erläutert Konzepte anhand geeigneter Formulierungen und bildet die Grundlage für die Erstellung von Vorlagen (Czarnecki 1998). Eine für den betreffenden Generator geeignete Codegenerierungsmethode stellt das Templates und Filtering-Verfahren dar. Bei diesem Verfahren beinhalten die Templates bereits den zu erzeugenden Quellcode. Die Vorlagen werden als Schablone auf das Datenmodell (Eingabedaten) gelegt. Zur Reduktion der Komplexität werden Filter über die Ausgangsspezifikation geschalten (Klar, Klar 2006).

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Anhand des Datenflussmodells (Abb. 1) wird dargestellt wie SPS-Softwarefragmente mit dem erstellten Codegenerator generiert werden können. Zunächst parametrieren die Anwender*innen ein Excel-Tool, indem sie Tabellen mit projektbezogenen Anlagen- und Betriebsmitteldaten befüllen. Projektübergreifend gleichbleibende Daten werden im Vorfeld von Systembetreuer*innen in einer MySQL-Datenbank konfiguriert. Im Anschluss nutzen die Applikateur*innen die grafische Oberfläche des Generators, um diesen zu bedienen. Mit dem User Interface können über die Openness-Schnittstelle SPS-Projekte bearbeitet und der Generierungsprozess gestartet werden. Beim Codegenerierungsvorgang werden in einem ersten Schritt die Eingabedaten aus der Excel-Konfigurationsdatei und der MySQL-Datenbank extrahiert, sortiert und gefiltert. Anschließend lädt der Generator XML-Vorlagen aus einem zentralen Vorlagenpool des Unternehmens.

Für jedes Betriebsmittel sind Vorlagen für Funktionsblöcke, I/O-Variablen und Datenbausteinstrukturen definiert. Der Generator ersetzt markierte Schlüsselwörter in den XML-Vorlagen anhand eines Find-And-Replace-Verfahrens mit den gefilterten Parameterdaten und reiht einzelne Betriebsmittelbausteine in logischer Reihenfolge aneinander. Anlagen im SPS-Programm des Unternehmens setzen sich aus einer beliebigen Anzahl elektrischer oder elektropneumatischer Betriebsmittel zusammen. Die in XML generierten SPS-Softwarefragmente werden abschließend automatisiert über die Openness-Schnittstelle in das TIA Portal importiert. Importierte XML-Dateien werden vom TIA Portal auf Gültigkeit geprüft und in eine für die Entwicklungsumgebung geeignete Programmiersprache (KOP, FUP, SCL, AWL) oder geeignetes Format (Variablen, Datenbausteine) transformiert.

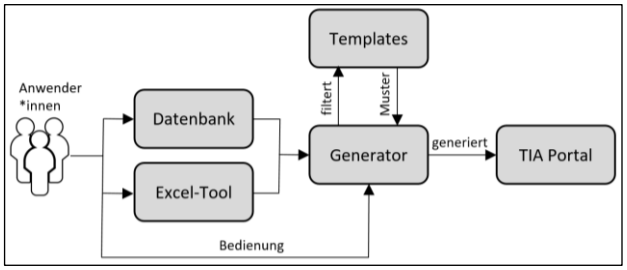


Abb. 1: Datenflussmodell des Codegenerators

Der entwickelte Codegenerator wurde mit der integrierten Entwicklungsumgebung Visual Studio nach dem objektorientierten Programmierparadigma in C# implementiert. Beim Entwurf der Softwarearchitektur (Abb. 2) standen die Erweiterbarkeit, Übersichtlichkeit und Wartbarkeit als Qualitätsmerkmale im Vordergrund. Erreicht werden diese Qualitätsmerkmale durch die Schichtenarchitektur als Architekturmuster und dem Model-View-ViewModel-Muster als Entwurfsmuster für die grafische Oberfläche. Des Weiteren wird durch die Verwendung objektorientierter Konzepte wie Interfaces eine möglichst lose Kopplung zwischen einzelnen Teilkomponenten erzielt und somit die Wiederverwendbarkeit der Programmbausteine erhöht. Das Gesamtsystem besteht aus drei verschiedenen Visual Studio-Projekten, den XML-Vorlagen, der Excel-Konfigurationsdatei und dem Datenbanksystem. Siemens stellt als Demoanwendungen die beiden Visual-Studio-Projekte ‚TIAPortalOpennessDemo' (Abb. 2 CodegeneratorPresentation) und ‚OpennessHelper' (Abb. 2 TIALib) zur Verfügung. Diese werden im Zuge der Implementierung umbenannt sowie den Unternehmensanforderungen entsprechend adaptiert und bilden im weiteren Verlauf die Grundlage für die grafische Oberfläche des Generators. Die Geschäftslogik (Abb. 2 CodegeneratorBL) bildet das Herzstück des Generators und vollzieht den zuvor beschriebenen Generierungsvorgang.

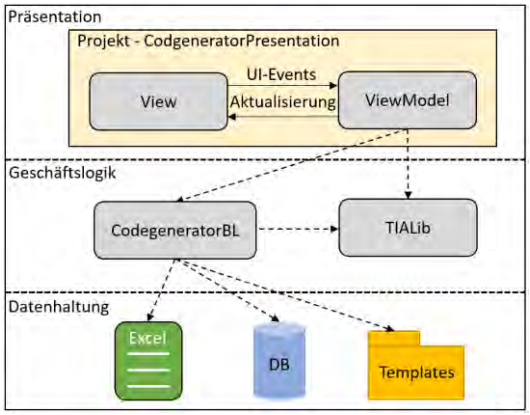


Abb. 2: Softwarearchitektur des Codegenerators

Die Funktionalitäten des Generators werden anhand simulierter Generierungsfälle evaluiert. Dazu werden die benötigten Konfigurationsdaten hinterlegt und die notwendigen Templates erstellt. Eine effiziente Arbeitsweise und eine erhöhte Codequalität können bestätigt werden. Es kann bereits durch nur wenige Eingaben in die Excel-Tabellen ein wesentlicher Anteil des SPS-Programmes automatisch erstellt werden. Der exakte Codegenerierungsgrad kann aufgrund zu weniger Testfällte nicht Aussagekräftig ermittelt werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche wurden die benötigten Kenntnisse für einen TIA Portal-Codegenerator vermittelt. Auf Basis dieser wurde ein strukturierter und auf C# basierender Codegenerator, der Funktionsblöcke, Datenbausteine und Variablentabellen mittels XML-Vorlagen generieren kann, implementiert. Die erstellten Simulationsfälle bestätigen die Peformance des Softwareproduktes und zeigen den möglichen Nutzen für das Unternehmen AVL. Durch die automatisierte Codegenerierung kann eine Reduzierung der Routinearbeit erreicht werden. Bevor der Generator tatsächlich im Unternehmen eingesetzt werden kann ist eine umfangreiche Systempflege notwendig, weshalb zunächst die erfolgreiche Unternehmensintegration im Fokus liegt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

Czarnecki, K., 1998. *Principles and Techniques of Software Engineering Based on Automated Configuration and Fragment-Based Component Models,* Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

Klar, M.; Klar, S., 2006. *Einfach Generieren: Generative Programmierung verständlich und praxisnah,* Carl Hanser Verlag, 978-3-446-40448-9, München

AUTOR

Daniel Schwaiger, BSc.
AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, 8020 Graz
Tel.: +43664 88632252, Email: daniel.schwaiger@avl.com

2007 - 2011: Lehre als Elektroinstallationstechniker mit Schwerpunkt Bus- und Prozessleittechnik
2013 - 2017: HTL Itzling und Bulme, Elektrotechnik mit Schwerpunkt Automatisierungstechnik, berufsbegleitend
2018 - 2021: FH Campus 02, Bachelorstudium, Automatisierungstechnik, berufsbegleitend
2012 - 2015: At-Logic GmbH, Automatisierungstechniker
2017 - heute: AVL List GmbH, System Designer PLC & Electrics

FH CAMPUS WIEN: AUFNEHMEN UND AUSWERTEN DER TEMPERATURVERTEILUNG IM BAURAUM EINER SLS-ANLAGE

Picker, J.

Kurzfassung: *Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Messsystem für die Aufnahme und Auswertung der Temperaturverteilung im Bauraum einer selektiven Lasersinter (SLS)-Anlage entwickelt. Das umgesetzte Messsystem basiert auf der Thermographie. Im Zuge der Arbeit wurden verschiedene Hard- und Software Ansätze evaluiert.*

Anhand der Analyse von Wärmebildern können Aussagen über die Temperaturverteilung auf der Baufeldoberfläche der SLS-Anlage Formiga P110 getroffen werden. Weiters können durch diese Erkenntnisse Druckerparameter bestimmt werden, um eine homogene Temperaturverteilung zu erreichen.

Ziel der Untersuchung ist eine erhöhte Prozess- und Qualitätssicherheit.

Schlüsselwörter: *additive Fertigungsverfahren, Python, selektives Lasersintern, Thermographie*

1. EINLEITUNG

Die Gestaltungsfreiheit und die breite Verfügbarkeit machen die Technologie der additiven Fertigung am Markt populär. Aufgrund der hohen technologischen Reife eignet sich das selektive Lasersintern für die Serienfertigung von Kunststoffbauteilen. Die Regelung der Temperatur spielt dabei eine große Rolle. Schon eine Temperaturabweichung von wenigen Kelvin auf der Baufeldoberfläche kann eine Änderung der Bauteilbeschaffenheit hervorrufen. Dies kann wiederum zu einer Einschränkung der Bauteilqualität, der Reproduzierbarkeit und der Prozessstabilität führen (Wegner 2015).

Die Motivation für diese Arbeit besteht in einer angestrebten Steigerung der Prozesssicherheit und dem Ziel den Bauteilausschuss auf ein Minimum zu reduzieren. Hierzu wurde ein Messaufbau gestaltet, der die aktuelle Temperaturverteilung auf der Bauoberfläche der SLS-Maschine aufzeichnet. Die generierten Aufnahmen wurden mithilfe einer Software-Lösung ausgewertet und analysiert. Dabei ist anzumerken, dass es zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit keine entsprechenden frei verfügbaren Systeme gab, die sich mit dieser Problematik befassen.

Um die Fragestellungen dieser Arbeit zu beantworten, wurde ausgehend von einer Literaturrecherche im praktischen Teil der Arbeit ein Versuchsaufbau umgesetzt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das Ziel der Untersuchung ist die Umsetzung eines Messsystems, welches die Temperaturverteilung auf der Baufeldoberfläche darstellt. Die SLS-Anlage „EOS Formiga P110“ beheizt die Baufeldoberfläche mit einer 4-Kanal-Heizung, wobei diese in vier Zonen unterteilt ist, welche individuell angesteuert werden können. Für die Aufnahme der Temperaturverteilung wurde die Thermographie zur Hilfe genommen. Die thermographischen Aufnahmen wurden verwendet um „Hot“- und „Cold“-Spots zu erkennen. Durch die Lokalisierung dieser Spots kann mittels der Parametrierung der 4-Kanal-Heizung eine homogene Temperaturverteilung auf der Baufeldoberfläche erreicht werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Es wurden zwei Hardware-Ansätze konzipiert. Einer dieser wurde mittels eines „Melexis MLX90640“-Wärmesensors umgesetzt, der andere mit einer handelsüblichen „FLIR T420“-Wärmebildkamera. Zum Konzeptentwurf gehörte die Erstellung des schematischen Programmablaufs, die Auswahl der Recheneinheit und die Bestimmung der Ausgabegeräte. Bei dem Aufbau mit dem „MLX90640“-Wärmebildsensor wurden zwei weitere mögliche Ausführungen der Recheneinheit entworfen: eine simplere Ausführung mit einem „Mikrocontroller“ und eine erweiterte Variante mit einem „Raspberry Pi“.

Die virtuelle Positionierung der Komponenten zur Überprüfung des Sichtbereichs der Messsysteme wurde in SOLIDWORKS erstellt. Hierzu wurde ein CAD-Modell basierend auf der „EOS Formiga P110“ konstruiert. Die Positionierung der Messsysteme im Drucker erfolgte mithilfe einer parametrischen Modellierung. Die Position und der Blickpunkt des Messsystems wurden dabei durch Variablen virtuell festgelegt. Dies ermöglicht das Anlegen von verschiedenen Baugruppen-Konfigurationen, die in weiterer Folge verglichen werden können.

Für die Auswahl des Messsystems wurden mehrere Bewertungskriterien, wie zum Beispiel der Deckungsbereich des Messsystems, die Verfügbarkeit und der Kostenaufwand verglichen. Aufgrund eines Lieferengpasses beim „MLX90640“-Wärmesensor wurde der Aufbau mit der handelsüblichen Wärmebildkamera umgesetzt. Für den Aufbau wurden weitere Komponenten eruiert, darunter ein IR-durchlässiges Schauglas und ein Adapter. Der Adapter wird für das Befestigen des Schauglases und der Kamera an der Maschine benötigt.

Der erste Ansatz zur Analyse der Wärmebilder wurde in „FLIR Tools“ umgesetzt. „FLIR Tools“ ist eine von „FLIR“ veröffentlichte Software, mit der Wärmebilder untersucht und verarbeitet werden können. Jedoch lieferte die Software nicht die benötigte Flexibilität, um eine Stapelverarbeitung der Wärmebilder zu ermöglichen. Um die erwünschte Flexibilität zu erreichen, wurde ein Programm in Python geschrieben.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Anforderungen des Python-Programms umfassen das Extrahieren der Temperaturwerte aus dem Wärmebild, das Verarbeiten der Temperaturwerte, das Erstellen einer Falschfarbendarstellung (Thermogramm) und die Ausgabe der statistischen Kennzahlen. Die Verarbeitungsschritte umfassen hierbei das Aufteilen des Wärmebildes in mehrere Zonen, das Bestimmen statistischer Kenngrößen sowie das Speichern dieser Daten in einer Tabelle. Weiters wurde eine Stapelverarbeitung von mehreren Bildern ermöglicht, wodurch die statischen Kennzahlen über mehre Druck-Schichten untersucht werden können.

Der Adapter für das Befestigen der Wärmebildkamera an der Maschine wurde in drei Phasen entwickelt. Die Anforderungen an den Adapter wurden definiert und

umgesetzt. In den ersten zwei Phasen wurde der Adapter im FDM-Verfahren gefertigt und es wurde die Passgenauigkeit an der SLS-Anlage geprüft. In der letzten Phase wurden die Erkenntnisse aus den vorherigen Phasen übernommen und der Adapter wurde im SLS-Verfahren gefertigt. Um das Beschlagen und Verschmutzen des Schauglases während eines Drucks zu vermeiden, wurde eine Spülung mit Stickstoff implementiert. Die Funktionalität wurde mit einer Strömungsanalyse validiert. Bei Anpassungen der Kameraposition in der Gesamtbaugruppe wird der Adapter automatisch auf die neue Position aktualisiert. Dadurch kann der ausgearbeitete Aufbau in Zukunft adaptiert und erweitert werden. Das CAD-Modell ist in der nachstehenden Abbildung (Abb. 1) dargestellt. Links ist der prognostizierte Sichtbereich der Wärmebildkamera und rechts die gesamte Baugruppe ersichtlich.

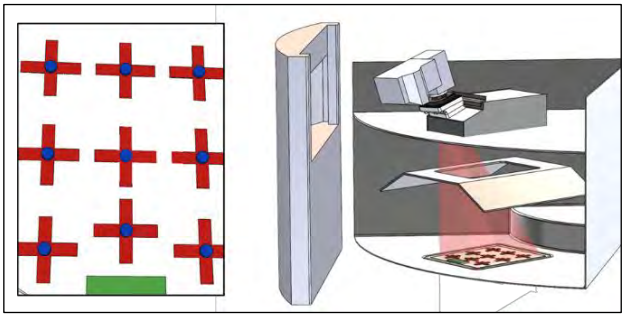


Abb. 1: Prognostizierter Sichtbereich im CAD-Modell

Da sich die Temperaturverteilung während eines Bauprozesses kontinuierlich verändert, musste ein einheitlicher Aufnahmezeitpunkt bestimmt werden. Die Bauphasen einer Schicht im SLS-Verfahren umfassen das Beschichten, Aufheizen, Belichten und Absenken der Bauplattform um eine Schicht. Um Aufnahmen vergleichen zu können, mussten diese immer zur selben Bauphase aufgenommen werden. Hierzu wurde die Wärmebildkamera über den Computer ferngesteuert und mit einen Intervall-Timer ausgelöst. Um das Intervall festzulegen, wurde die Temperatur der gesamten Bauoberfläche während eines Druckvorgangs aufgezeichnet und ausgewertet. Anhand der protokollierten Temperaturwerte konnten die Bauphasen des Druckers identifiziert und somit das Intervall der Aufnahmen bestimmt werden.

5. ERGEBNISSE

Bei der Versuchsdurchführung wurde ein Druck mit sich wiederholenden Geometrien untersucht. Mit dem Python-Programm wurden die statistischen Kenngrößen der jeweiligen Bauphasen untersucht und analysiert. Anhand dieser ist ein Trend zur Temperaturverteilung auf der Baufeldoberfläche erkennbar. In der folgenden Abbildung (Abb. 2) ist die Auswertung dargestellt. Es handelt sich bei der Aufnahme um eine Auswertung von acht Schichten vor der Belichtung. Links ist das Thermogramm der gestapelten Wärmebilder und rechts die Abweichung des Mittelwerts einer Zone im Vergleich zum gesamten Durchschnitt ersichtlich. Ein Temperaturgradient über die gesamte Baufeldoberfläche konnte nicht identifiziert werden, aber bereits belichtete Bauteile haben durch Ihre Wärmeausstrahlung eine Einwirkung auf die Wärmeverteilung.

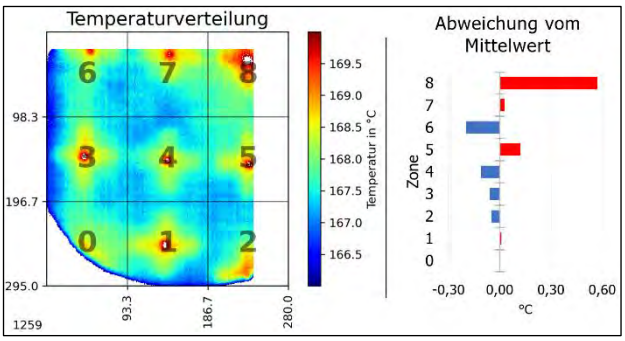


Abb. 2: Auswertung in Python

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Arbeit lieferte Erkenntnisse zur Temperaturverteilung auf der Baufeldoberfläche der „EOS Formiga P110“. Mit einem weiteren Ausbau des Messsystems ist es möglich, den Forschungsansatz zu erweitern, indem eine automatische Auswertung in direkter Kommunikation mit dem Drucker ermöglicht wird. Ein Ausbau mit einem „Mikrocontroller“ oder „Raspberry Pi“ kann hierbei Flexibilität bei der Aufnahme der Bilder ermöglichen.

Die Überwachung des Bauprozesses kann weiters auch mit einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle gestützt werden, wobei geprüft werden kann, ob die gedruckten Bauteile ungleichmäßig belichtet wurden und somit eine geringere Bauteilqualität aufweisen. Ein weiterer Faktor, der mit der Thermographie erreicht werden kann, ist ein verbessertes Regelsystem zwischen Soll- und Ist-Temperatur auf der Baufeldoberfläche, da die Auswirkung von bereits belichteten Bauteilen derzeit in der Temperaturregelung der Anlage nicht berücksichtigt werden können. Das entwickelte System kann als Grundlage für die weitere Forschung verwendet werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Bernhard F., (ed.), 2014. *Handbuch der Technischen Temperaturmessung*, Springer Berlin Heidelberg, 978-3-642-24505-3, Ilmenau

Fastermann P., 2012. *3D-Druck/Rapid Prototyping.* Springer Berlin Heidelberg, 978-3-642-29224-8, Heidelberg

Klocke F., 2015. *Fertigungsverfahren 5*, Springer Vieweg, 978-3-540-23453-1, Düsseldorf

Wegner A., 2015. *Theorie über die Fortführung von Aufschmelzvorgängen als Grundvoraussetzung für eine robuste Prozessführung beim Laser-Sintern von Thermoplasten,* (o.O.)

AUTOR

Johannes Picker

FH Campus Wien, Favoritenstraße 226, 1100 Wien, 0664 73322254, johannes.picker@outlook.com

2020-2021: Berufspraktikum „alphacam austria GmbH“
2018-2021: Bachelorstudium High-Tech-Manufacturing, FH Campus Wien
2010-2017: AHS-Matura in Salzburg, Österreich: Privatgymnasium der Herz Jesu Missionare
2007-2010: Mittelstufe in Almaty, Kasachstan: American-International-School

FH KÄRNTEN: ANTRIEBSAUSLEGUNG UND MATHEMATISCHE MODELLBILDUNG VON MECHATRONISCHEN SYSTEMEN

Dimić, M.; Pitschek, P.

Kurzfassung: *Um die Möglichkeiten im Regelungstechnik-Labor von Fachhochschulen zu erweitern, ist ein kosteneffizientes, in seiner Komplexität variables und hoch modulares Linear-Cart-System entwickelt worden. Dieses wird zur Erläuterung und Beantwortung regelungstechnischer Fragestellungen als unterstützendes Lehrmittel eingesetzt. Das neue System bietet ein breites Spektrum an diversen regelungstechnischen Applikationen und ermöglicht den Einsatz von modernen Control-Konzepten, wie etwa selbstlernende Regler. Um dies zu gewährleisten steht der Antrieb und das dynamische Verhalten im Vordergrund. Mathematische Modelle werden anhand der Methode von Newton gebildet, mittels Simulation untersucht und am realen Aufbau verifiziert. Der neu ausgelegte Antrieb bewirkt eine Reduzierung der nichtlinearen Effekte aufgrund einer schmäleren Totzone und vereinfacht somit die Anwendung linearer Regelungsmethoden. Weiters erlaubt eine bessere Gleitfähigkeit des Carts Applikationen ähnlich eines geregelten Feder-Dämpfer-Masse Systems von zwei oder mehr Carts.*

Schlüsselwörter: *Antriebsauslegung, mathematische Modellbildung, Linear-Cart-System, Systemverifikation*

1. EINLEITUNG

Zur Erläuterung und Beantwortung regelungstechnischer Fragestellungen wird ein Linear-Cart-System als unterstützendes Lehrmittel an der FH Kärnten eingesetzt. Es bietet Studierenden die Möglichkeit, das theoretisch erlangte Wissen von der mathematischen Modellbildung bis zum Reglerdesign für einfache und komplexe mechatronische Systeme anzuwenden. Kommerziell erhältliche Linear-Cart-Systeme, welche aktuell an der FH Kärnten eingesetzt werden, bieten nicht die ausreichende Modularität, um die größtmögliche Bandbreite an Aufgabenstellungen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades zu ermöglichen. Auch das dynamische Verhalten, welches notwendig ist, um anspruchsvolle Control-Konzepte, wie zum Beispiel selbstlernende Regler, zu erforschen und einzusetzen, entspricht nicht den Anforderungen. Aufgrund des daraus entstehenden Bedarfs eines neuen, kosteneffizienteren und hochmodularen Linear-Cart-Systems (Abb. 1), welches einen veränderbaren Komplexitätsgrad der regelungstechnischen Applikation erlaubt, wird das Hauptaugenmerk auf folgende Punkte gelegt:

- Auslegung eines Antriebssystems mit verbesserten dynamischen Eigenschaften
- Mathematische Modellbildung und Simulation

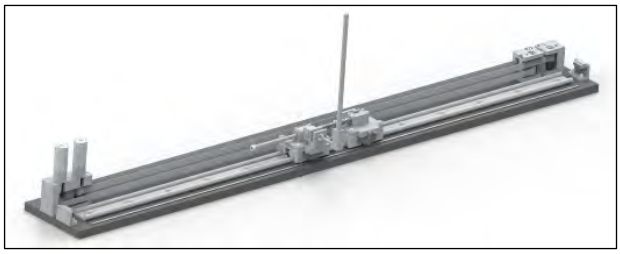


Abb. 1: 3D-Modell des neu entwickelten Linear Cart Systems

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das neu entwickelte System besteht aus mehreren Carts, welche sich auf einer Linearführung bewegen und mittels Federn verbunden sind. Um mehr Möglichkeiten an regelungstechnischen Applikationen und anwendbaren Reglerkonzepten zu gewährleisten, wird eine einfache Anpassung der Systemkonfiguration, wie etwa das Ändern der Cart-Anzahl, vorrausgesetzt. Zwei dieser Carts können mit einem der zwei unabhängig gesteuerten Motoren angetrieben werden. Dabei ist es sinnvoll den Reibungskoeffizenten des Antriebsstrangs klein zu halten, da dieser sich direkt auf die dynamischen Eigenschaften auswirkt. Der Einfluss der Einzelfaktoren auf die Dynamik des Systems ist in dessen mathematischen Modell ersichtlich. Dieses wird als Grundlage benötigt, um möglichst einfach optimale Regler für alle möglichen Systemkombinationen zu entwerfen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Ausgehend von dem Linear-Cart-System der Firma Quanser® können die wesentlichen Kompontenen des linearen elektromechanischen Antriebssystems als Linearführung, Linearantrieb und Positionssensor identifiziert werden [1]. Bei der Betrachtung von Antrieben für Linearbewegungen in Zusammenhang mit einem Linear-Cart-System stehen Merkmale wie Positioniergenauigkeit, Selbsthemmung und Wirkungsgrad im Vordergrund, da diese einen direkten Einfluss auf die dynamischen Eigenschaften des Gesamtsystems haben [2][3].

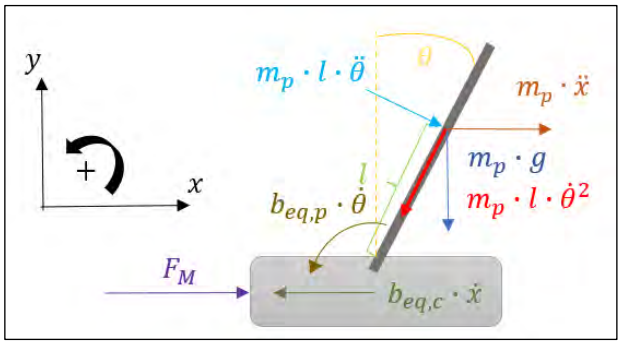


Abb. 2: Statisches Kräftegleichgewicht bei Cart mit Pendel

Basierend auf den Gesetzen von Newton kann eine Berechnung des statischen Kräftegleichgewichts (Abb. 2) an einzelnen freigeschnittenen Komponenten aufgestellt werden, um ein mathematisches Modell zu bilden [4]. Dieses erlaubt den Einfluss der Einzelkomponenten auf das Gesamtsystem darzustellen und ermöglicht den Reglerentwurf für diverse Konzepte. Die Modellbildung wurde anhand von Rapid-Control-Prototyping mittels MatLab®, Simulink® und QUARC® Soft- und Hardware durchgeführt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Aus den erhaltenen Informationen zu Positioniergenauigkeit, Selbsthemmung und Wirkungsgrad erkennt man, dass der Riemenantrieb aufgrund seiner Eigenschaften für die Anwendung im Linear-Cart-System besser geeignet ist als der zuvor verwendete Zahnstangenantrieb [3]. Dieser wird in zwei seperaten Antriebssträngen mittels voneinander unabhängigen Gleichstrommotoren angetrieben. Um eine Verbesserung des neuen Linear-Cart-Systems zu verifizieren, ermittelt man die dynamischen Eigenschaften des Systems mit unterschiedlichen Riemenkonfigurationen und vergleicht sie mit dem Referenzsystem. In Form von unterschiedlichen Messaufbauten werden die Losbrechkraft, das Losbrechmoment, die Positioniergenauigkeit und eine Drehzahl-Strom-Kennlinie aufgezeichnet. Um zusätzliche Rückschlüsse auf das Bremsverhalten im Leerlauf zu ziehen, wird der Verfahrweg des Carts nach einer Beschleunigungsphase gemessen.
Als Ergebnis einer mathematischen Modellbildung erhält man Differentialgleichungen, repräsentativ dafür ist das Gleichungssystem erster Ordnung eines Carts mit Pendel:

$$\dot{x} = v$$
$$\dot{v} = \frac{1}{m_{ges}}\left[\frac{k_{ges}\eta_{ges}}{r_p} i_M - m_P(l\dot{\omega}\cos\theta - l\omega^2\sin\theta) - b_{eq,c}v\right]$$
$$\dot{\theta} = \omega$$
$$\dot{\omega} = \frac{3}{7l}\left[g\sin\theta - \cos\theta\,\dot{v} - \frac{b_{eq,p}}{m_p l}\omega\right]$$

Für die weitere Verifikation der erhaltenen Modelle ist es notwendig, alle Modellparameter mit numerischen Zahlenwerten zu belegen. Diese erhält man aus den jeweiligen Datenblättern der Komponenten und aus praktischen Versuchen. Zur Kontrolle der ermittelten Parameter werden die Systeme zuerst in einer simulierten Umgebung betrachtet. Anschließend wird das reale Modell durch den Vergleich zwischen simulierter und realer Systemantwort verifiziert.

5. ERGEBNISSE

Die Systemidentifikation, sowie der Vergleich von Realen- und Simulations-Daten, bestätigt die ausreichende Genauigkeit des mittels Newton'schen Verfahrens gefundenen mathematischen Modells. Dieses verifizierte Modell dient als Basis für den Entwurf mittels verschiedener Reglerkonzepte.
Bei der Analyse der Drehzahl-Strom-Kennlinie (Abb. 3) werden unterschiedliche Riemenkonstellatationen des neuen Systems mit der Zahnstange des Referenzsystems verglichen. Es wird eine Reduzierung der nichtlinearen Effekte aufgrund einer schmäleren Totzone und eines ansonsten annähernd linearen Kurvenverlaufs festgestellt. Dies vereinfacht die Anwendung linearer Regelungsmethoden und gewährleistet eine Vielzahl an Aufgabenstellungen als Lehrmittel. Die Untersuchung des Bremsverhaltens im Leerlauf zeigt außerdem, dass aufgrund der neuen Antriebsauslegung eine bessere Gleitfähigkeit des Carts erzielt werden konnte. Die dadurch gewonnene Dynamik in Kombination mit einer höheren Auflösung des Positionssensors erlaubt die Anwendung eines geregelten Feder-Dämpfer-Masse Systems von zwei oder mehr Carts.

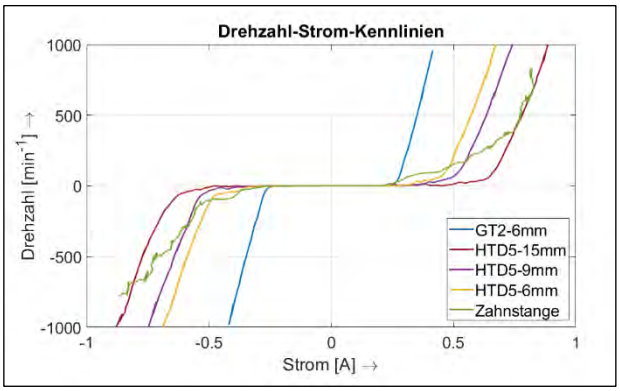


Abb. 3: Drehzahl-Strom-Kennlinien-Vergleich verschiedener Systemkonfigurationen

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Projekt Linear-Cart-System hat eine neue, modulare und ressourcenschonende Plattform für regelungstechnische Lehrveranstaltungen hervorgebracht, welche Studenten während ihrer Ausbildung begleiten kann: Von einfachen Positionieraufgaben bis hin zur komplexen Pendelregelung deckt das Konzept eine Vielzahl von Aufgaben ab. Es können Regler für Systeme mit bis zu fünf Carts und Pendel oder anderen Aufbauten erstellt werden. Verschiedene Regler, z.B. PID, Model-Predictive-Control und selbstlernende Konzepte, können auf den Systemen implementiert werden, um zahlreiche regelungstechnische Fragestellungen sowie neue Forschungsthemen zu beantworten.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[1] Quanser, 2020. Quanser: Linear Servo Base Unit with Inverted Pendulum, *Available from:* https://www.quanser.com/products/linear-servo-base-unit-inverted-pendulum/ *Accessed:* 2021-09-15

[2] Grob GmbH Antriebstechnik, 2014. *Grundlagen linearer Antriebstechnik: Hubgetriebe, Stellantriebe und Elektrohubzylinder*, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-03149-7, Wiesbaden

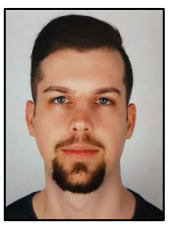
[3] Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Vossiek, J., 2015. *Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung*, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-09081-4, Wiesbaden

[4] Cannon, R. H., 2003. *Dynamics of Physical Systems*, Dover Publications, INC., ISBN 978-0-486-42865-9, New York

AUTOREN

Miona Dimić, BSc
FH Kärnten – Campus Villach
edudimmio001@fh-kaernten.at
Berufspraktikantin im Component-Verification-Lab bei Infineon Technologies AG - Standort Villach. Masterstudentin - Systems Design an der FH-Kärnten.

Paul Pitschek, BSc
FH Kärnten – Campus Villach
edupitpau002@fh-kaernten.at
Tätig bei Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH im Institut Robotics and Mechatronics. Masterstudent - Systems Design an der FH-Kärnten.



FH WELS: ERMITTLUNG DER EINFLUSSFAKTOREN ZUR SICHERSTELLUNG DER KOEXISTENZ VERSCHIEDENER FUNKSTRECKEN

Amerstorfer, Robert

Kurzfassung: *Diese Arbeit hat das Ziel, Wissen und Erfahrung im Umgang mit parallel betriebenen Funkstrecken zu sammeln, um diese für die Systemweiterentwicklung verwenden zu können. Nach einer Literaturrecherche, mit dem Fokus auf Interferenzen zwischen WLAN und Bluetooth Low Energy, wurden Versuche mit Prototypen durchgeführt.*
Die Ergebnisse aus den zahlreichen Messungen deckten sich mit dem gewonnenen Wissen aus den Recherchen. Bluetooth interferiert mit belastetem WLAN im 2,4 GHz Frequenzband. Das Abstandsmesssystem, das ebenfalls im 2,4 GHz Band arbeitet, wirkt sich ebenfalls negativ auf die Latenzzeiten der Bluetooth Nachrichten aus.
Schlüsselwörter: *Bluetooth, Latenzzeit, WLAN, Funkinterferenz.*

1. EINLEITUNG

Das Unternehmen KEBA arbeitet an der Entwicklung von kabellosen und sicheren Bedienteilen, die in der Roboter-Programmierung und bei autonomen mobilen Transportfahrzeugen ihren Einsatz finden. Diese Geräte zeichnen sich neben der Funktionalität eines handelsüblichen Tablet PC´s auch durch die integrierten Sicherheitsfunktionen aus, die dem Benutzer ermöglichen, auf Notsituationen reagieren, und Bewegungen in Gefahrenbereichen freizugeben zu können.
Um Sicherheit und schnelle Reaktion auch mit einem kabellosen System zu gewährleisten, werden sicherheitsrelevante Daten über eine Bluetooth Low Energy Funkschnittstelle übertragen und auf dem Bedienteil sowie der Basisstation von zwei getrennten Mikrocontrollern redundant ausgewertet. Ist der Vergleich fehlerhaft oder die Verzugszeit der Übertragung zu groß, so wird das System in einen sicheren Zustand versetzt. Der Abstand zwischen Bediener und Arbeitsbereich der Maschine ist ein weiterer sicherheitskritischer Aspekt der mit Hilfe einer funkbasierten Abstandsmessung sichergestellt wird. Verlässt der Maschinenbediener den Bedienbereich der Maschine, so wird er gewarnt. Wenn er sich weiter entfernt wird die Maschine in einen sicheren Zustand versetzt.
Nicht sicherheitsrelevante Daten wie Visualisierungen oder Maschinendaten werden per WLAN Schnittstelle übertragen um die Verfügbarkeit der Bluetooth Verbindung nicht zu beeinträchtigen. Die sichere und eindeutige An- und Abmeldung der Bedieneinheit an der Basisstation wird mittels RFID Authentifikation durchgeführt. Diese Vorkehrung soll eine Mehrfachanmeldung an verschiedenen Maschinen verhindern.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Ziel der Arbeit ist, durch Untersuchung der Verbindungsqualität in verschiedenen Anwendungssituationen sollten Einflussgrößen und Wechselwirkungen der einzelnen Funktechnologien identifiziert werden.
Der Schwerpunkt soll dabei in der Latenzzeitanalyse der Bluetooth Verbindung liegen, da diese für den späteren Betrieb die wichtigsten Funktionen übernimmt. Um eine hohe Kundenakzeptanz des Systems am Markt zu generieren muss die Latenzzeit der Bluetooth Nachrichten so gering wie möglich sein. Die Problemstellung lässt sich in folgender Frage formulieren. Welche Faktoren beeinflussen parallel betriebene Funkverbindungen und welche Wechselwirkungen gibt es zwischen diesen?

3. GRUNDLAGEN DER VERWENDETEN FUNKVERBINDUNGEN UND EXPERIMENTE

ISM steht für Industrial, Scientific und Medical und definiert Frequenzbänder die in den meisten Ländern lizenzfrei genutzt werden dürfen. Die wichtigste Einschränkung bei der Verwendung dieser Bänder ist eine Sendeleistung von maximal 100 mW. (Sauter M. 2018)
Bluetooth Low Energy, abgekürzt BLE, bezeichnet eine Funkübertragungstechnologie im ISM Band 2,4 GHz die 40 Kanäle mit je 2 MHz Bandbreite anbietet. (Silicon Laboratories)
BLE besitzt verschiedene Einrichtungen um die Robustheit der Datenübertragung zu erhöhen. Die erste Methode ist das Adaptive Frequency Hopping, abgekürzt AFH, dass vor dem Senden eines jeden Datenpaketes den Frequenzkanal ändert. In Kombination mit dem Channel Assessment, welches die zweite Methode darstellt, können Paketkollisionen vermieden werden. Channel Assessment evaluiert, durch Messung der Sendeleistung in den einzelnen Kanälen die Auslastung dieser. Mit dieser Information können Kanäle mit einer hohen Auslastung vermieden und somit Paketverlusten vorgebeugt werden. (Silicon Laboratories, Bluetooth SIG 2016)
Wireless LAN arbeitet je nach Standard im 2,4 GHz oder 5 GHz ISM Band. Im 2,4 GHz Band stehen 13 Kanäle mit je 20 MHz Bandbreite zur Verfügung wobei sich nur 3 Kanäle nicht überlappen. Das 5 GHz Band bietet hingegen 129 Kanäle mit einer Breite von bis zu 80 MHz, dadurch können je nach Bandbreite bis zu 9 nicht überlappende Kanäle gefunden werden. (Sauter M. 2018)
In diesem Projekt wurde eine Abstandsmesstechnologie basierend auf der RADAR, Radio Detection and Ranging, Technologie verwendet, welche ebenfalls im ganzen 2,4 GHz ISM Band arbeitet.

3.1 Literaturrecherche

Mehrere Papers zeigten, dass Interferenzen zwischen den einzelnen Funkstandards passieren. Es treten mit steigender Anzahl von Bluetooth Knoten mehr Paketkollisionen auf, was dazu führt, dass die WLAN Datenrate fällt und die Latenzzeit der BLE Pakete steigt. (Wyffels et al. 2014) Ein weiters Paper befasste sich mit Tests des Channel Assessments und zeigte dass Störungen im Bereich des BLE Masters durch das Channel Assessment erkannt und ausgeblendet werden. Bei Störungen in der Umgebung des Slaves hingegen, funktioniert diese Strategie nicht. (Spörk et al. 2019)

3.2 Experiment

Für die Experimente wurde ein Prototyp Bediengerät des Typs KEBA KeTop T150 SWL und eine Prototyp Basisstation Typs KEBA Connection Box CB400 SWL verwendet. Es wurden WLAN Durchgangsraten und BLE Latenzzeiten in verschiedenen Situationen gemessen und die gegenseitige Beeinflussung evaluiert.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Im System wurde für die Messung der BLE Latenzzeiten ein Testkommando implementiert. Zur Vereinfachung des Handlings der Messungen wurde ein Konsolenprogramm entwickelt, dass die Kommunikation über die serielle Schnittstelle, die weitere Verarbeitung und Speicherung übernimmt. Bevor die Messung gestartet werden konnte, wurden zuerst Bediengerät und Basisstation mittels „pairing" verbunden dann im jeweiligen Testsetup platziert. Im Zuge verschiedener Testsetups wurden Distanzen zwischen den Geräten, aktive Funkverbindungen und verschiedene Belastungssituationen dieser variiert. Bei aktiver und belasteter WLAN Verbindung wurde auch die WLAN Datenrate mitgemessen.

5. ERGEBNISSE

Die Messungen zeigten, dass die größten Einflussfaktoren, auf die BLE Latenzzeiten, der Abstand der Geräte, und die anderen genutzten Funkstrecken im 2,4 GHz Band sind. Der Einfluss der zusätzlichen Funkstrecken hängt von Sendeleistung und Auslastung ab. WLAN mit einer Dauerbelastung von ca. 40 Mbit/s beeinträchtigt die BLE Latenz signifikant. Abb. 1 zeigt die BLE Latenzzeit einmal mit Belastetem WLAN in 2,4 GHz in Blau und einmal im 5 GHz Band in Rot. Dabei ist erkennbar, dass die meisten Pakete der Roten Messreihe zwischen 60 und 69 ms Latenz aufwiesen. Bei der Blauen Messreihe benötigten die meisten Pakete länger als 130 ms. Eine Reduktion der Sendeleistung des WLAN verbesserte die BLE Latenz, allerdings fiel die Datenrate und die Verbindungsstabilität beim WLAN.

Abb. 1: BLE Latenzzeit mit 2,4 GHz WLAN Interferenz (Blau) mit 5 GHz WLAN Interferenz (Rot)

Das RADAR Abstandsmesssystem beeinflusst die BLE Latenz sowie die WLAN Datenrate negativ durch die Nutzung des gesamten 2,4 GHz Bandes. Der in Abb. 2 dargestellte Sachverhalt zeigt die WLAN Datenrate mit Fortlaufender Zeit. Die Rote Kurve liegt ungefähr bei der halben Datenrate der Blauen Kurve was daran liegt, dass die Rote Kurve bei aktivem Abstandsmesssystem aufgenommen wurde, die Blaue war hingegen keiner Interferenz mit RADAR ausgesetzt.

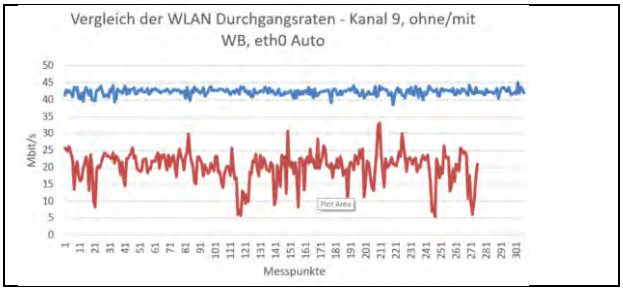


Abb. 2: WLAN Datenrate ohne RADAR Interferenz (Blau) mit RADAR Interferenz (Rot)

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die für das Projekt durchgeführte Literaturrecherche unterstützte beim Wissensaufbau und der Testentwicklung. Die Ergebnisse zeigten klare Wechselwirkungen zwischen den Funktechnologien die im 2,4 GHz Band arbeiteten. Belastetes WLAN beeinflusst die BLE Latenzzeit, sowie das 2,4 GHz RADAR System. Sind RADAR und WLAN gleichzeitig im selben Band aktiv, so kommt es ebenfalls zu gegenseitigen Störungen, die sich in einer Reduktion der WLAN Datenrate äußern. Zur Lösung dieser Interferenzprobleme wird eine Verschiebung des WLAN in das 5 GHz ISM Band empfohlen, wodurch die Belastung des 2,4 GHz Bandes verringert wird. Abstand, Sendeleistung und externe Einflüsse sind zusätzliche Störquellen.
Weitere Messungen in verschiedenen Umgebungen mit diversen Störquellen wie externes WLAN oder weiteren Safe Wireless Systemen sollen zeigen wie robust das System in realitätsnahen Einsatzszenarien ist.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Bluetooth SIG (Special Interest Group), 2016. *Bluetooth Core Specification v 5.0,*

Sauter, M., 2018. *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme,* Köln, Springer Vieweg

Spörk, M., Boano, C. A. & Römer, K., 2019, Improving the Timeliness of Bluetooth Low Energy in Noisy RF Environments, Institut für Technische Informatik, TU Graz

Silicon Laboratories Inc., *Bluetooth LE Fundamentals,* UG103.14, 400 West Cesar Chavez, Austin, USA

Wyffels, J.; Goemaere, J.-P., Nauwelaers, B. & De Strycker, L., 2014. Influence of Bluetooth Low Energy on WIFI Communications and Vice Versa, Springer International, Belgium

AMERSTORFER ROBERT

Robert Amerstorfer

KEBA AG, Reindlstraße 51, +43664 7504 2452, S2010564002@fh-ooe.at

2007 – 2012 HTL Neufelden (Automatisierungstechnik), 2013 – 2017 Mechatronik Versuchstechniker bei Pöttinger Landtechnik GmbH, 2017 – 2020 Bachelor Studium Automatisierungstechnik FH Wels, 2020 – Testingenieur für Funkverbindungen bei KEBA AG, 2020 – Master Studium Automatisierungstechnik FH Wels

FH TECHNIKUM WIEN: OPERATING PRINCIPLES OF INDUSTRIAL SENSORS AND THEIR INTERACTION WITH DIFFERENT MATERIAL PROPERTIES VISUALIZED USING VIRTUAL REALITY

Gehberger, J. BSc

Abstract: *Virtual reality (VR) is more and more commonly used in education. Using Head-Mounted displays (HMD), students can directly observe various phenomena in Mathematics, Engineering and the Arts.*
This paper discusses the results of a project focusing on creating a game-like virtual laboratory exercise in which students experience the characteristics of various industrial sensors and the latter's ability to detect different material properties. The operating principle of each sensor is also graphically visualized where possible. Unity and the SteamVR plugin were chosen for the implementation of this project. An HTC Vive was used to ensure proper functionality during game development. The game consists of multiple worlds which each contain one sensor type. This was done to circumvent malfunction in the sensors' operation caused by scripts that were used to simulate each of them. Depending on the type of data output from the sensors', different types of data visualization were chosen.
Keywords: *Virtual Reality, Virtual remote lab, VR in Education, Unity, Industrial Sensors*

1. INTRODUCTION

There is currently no possibility for students of the UAS Technikum Wien to carry out laboratory exercises in a virtual or remote way. This was especially troublesome when a pandemic hit Austria in March of 2020.

From one day to the other, lectures and laboratory exercises had to be switched to remote learning which led to many students not being able to experience the intended physical lab experiments. To offer a solution, the idea for a virtual remote lab was born. Such lab should convey the subject matter of the physical exercise as closely as possible and further enhance the experience by visualizing the operating principles of the sensors and add additional sensors for testing that would normally not be possible to test in an educational environment due to the dangerous conditions they detect. Interaction with the virtual world should take place via a head-mounted display (HMD) and associated motion controllers, both of which are part of commercially available virtual reality (VR) headsets.

Prior scientific work has unveiled that the use of immersive VR in education, where the user sees a stereoscopic rendering which adapts to his or her movements and can be interacted with, is a more effective way to convey subject matter (Veronica S. Pantelidis 2010). The use of VR is also widely represented in the field of programming industrial robots as it allows for the programming to happen by less experienced staff as noted by Yap, Taha and Vui (2008).

2. PROBLEM DESCRIPTION

The focus was to clarify whether it is possible to virtualize the laboratory exercise "MLab1" "UE5 - Sensorik" conducted in the third semester of the bachelor's degree program mechatronics/robotics.

The finished program should provide a game-like virtual laboratory experience in which students can learn about the interactions of various industrial sensors with different materials as well as the sensors' detection capabilities and measurement methods.

The materials for testing consist of Mild Steel, Stainless Steel, Brass, Copper, Aluminium as well as transparent, tinted, and reflective acrylic plates. The sensors in question are photoelectric sensors, laser scanners and proximity switches as well as pressure/explosion and radiation sensors.

3. MATERIALS AND METHODS

Unity, a program for game development, was used to focus the work on creating the virtual lab exercise instead of creating the necessary software-framework around it. It also offers the use of plugins, which further expand its functionality. One such plugin is SteamVR which enables the interaction of virtual reality headsets, motion controllers and accompanying tracking devices with objects in games created with Unity. Additional plugins that offer pre-made objects for game-world were also used in the project. The HTC Vive was chosen as the system to which this virtual lab exercise is tailored to. Due to the use of the SteamVR plugin, other headsets could be used as well without requiring any changes to the finished project.

The practical basics for the operation of the sensors was taken from the laboratory reports written during the physical lab exercise. Multiple reports from different students were evaluated to get a better understanding of the sensors' characteristics and avoid potentially larger measurement errors by employing the latter's arithmetic mean.

Whenever possible, 3D models of the sensors, available from the manufacturers website where used in order to achieve the greatest possible degree of detail. If there were no downloads available, the 3D modeling software Blender was used to model and color similar shaped objects.

A similar approach to the simulation of sensors in Unity was taken by Jeff Craighead, Jennifer Burke and Robin Murphy (2007). Of particular interest was the researchers implementation of the SICK LMS-200, a laser scanner similar to the one used in the lab experiments.

4. PRACTICAL REALIZATION

Scripts were used in the simulation of the sensors' performance and in the processing of sensor data to be displayed in a form fitting the expected output signal, for example graphs or text. Scripts are custom pieces of code written in C# which can be used to alter the Unity environment in an automated way at runtime. Scripts can spawn objects, modify their appearance, perform calculations and interact with other scripts. Unity-specific functionality like *Raycasts*, *LineRenderers* and *PreFabs* were used throughout the project to achieve the desired actions of the various sensors.

It was chosen that the different sensors will be placed into individual game-worlds to which the user can teleport between. This decision was made to prevent the risk of interference between scripts. One central world was chosen as a sort of

main-menu where the user sees all the available sensors and can pick up the one he is most interested in to get teleported.

5. RESULTS

The result is a game-like virtual lab exercise where the user can interact with different objects resembling various materials and observe their interaction with the different sensors using a virtual reality headset.

The following section shows an excerpt of the finished project presenting the laser scanner and inductive proximity switch. Other sensors (inductive proximity switch, through-beam sensor, retro-reflective sensor, explosion sensor and radiation sensor) which are part of the final project will not be shown here due to size constraints but can be seen at the following link: https://youtu.be/sI165pXxRxY

Laser scanner:

The laser scanner (Figure 1) was modelled in accordance with the characteristics of the Hokuyo URG-04LX-UG01 which was also utilized in the physical lab exercise.

The sensor is simulated by casting rays outwards from its base. The red lines mimic the (invisible) laser beams of the real sensor. The number of laser beams and the maximum measured distance can be customized by the user to adapt the sensor to the capability of the hardware used to run the simulation. Each measurement gets stored in a list and a random error of up to plus or minus 4 mm gets added to the measurement imitating the noisy output signal of the real sensor. The measurements are read by another script that uses them to create a graph which gets displayed in real-time in front of the user. The graph automatically adjusts to changes in the setup of the laser scanner, be they measured length or number of beams.

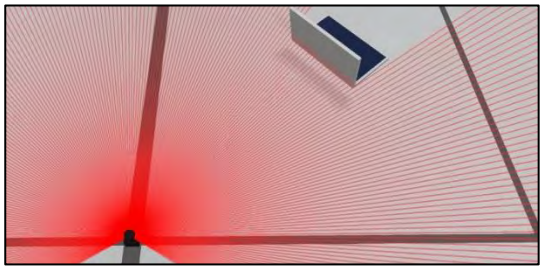


Figure 1: Laser scanner

Inductive proximity switch:

The inductive proximity switch (Figure 2) is aiming to be a simulation of the Balluff BES004N.

Just like its real counterpart its switching distance is dependent on the type of material that is supposed to be detected. It also does not react to objects consisting of non-conductive materials. A floating text above the material is displayed when it is held in front of the sensor to indicate the different switching distances of the materials. An indicator lamp located besides the sensor is used for showing the current output signal. It switches its color when a material is present at a detectable range.

Figure 2: Inductive proximity switch

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

It was proven that the virtualization of a physical lab exercise can be done. Additional enhancements like the visualization of the working principles were achieved to a large degree. Using Unity in conjunction with the SteamVR plugin allowed for an easy entry into the world of VR game development. The result is believed to be an adequate alternative to the in-person experience when using the same instructions as given in the physical laboratory.

The restricted functionality offered by basic components like *LineRenderers* limited the ability to visualize the working principle of more complex sensors like the proximity switches. Future work could deal with these restrictions by utilizing *Shaders* and/or *Particle Systems* which offer a far greater range of customizability but have a high barrier of entry due to their complexity. These would dynamically react to the presence of certain materials and help students grasp a better understanding of the sensors' underlying principles.

To allow more students to experience the virtual lab exercise, future work will need to focus on adapting it for more widely available and affordable VR alternatives to the HTC Vive. Products like Google Cardboard could be a possible means to achieve this goal, as it also provides plugins for easier integration into Unity.

7. BIBLIOGRAPHY

Craighead, J.; Burke, J. & Murphy, R., 2007. Using the Unity Game Engine to Develop SARGE: A Case Study, *Computer*, 4552.

Vantelidis, V.S., 2010, Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality, *Themes in Science and Technology Education*, 2(1-2), pp. 59–70.

Yap, H.J.; Taha, Z. & Vui, L., 2008, VR-Based Robot Programming and Simulation System for an Industrial Robot, *International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice*, 15, pp. 314–322.

AUTOR

Johannes Gehberger, BSc.

FH Technikum Wien, Höchstädtpl. 6, 1200 Wien, +43 680 3018288, johannes.gehberger@gmail.com

Beginn der technischen Ausbildung an der HTBL u. VA St. Pölten (Automatisierungstechnik), nach der Matura Zivildienst als Rettungssanitäter. Studium seit September 2018 an der FH Technikum Wien, Bachelorstudiengang Mechatronik/Robotik (mit Auszeichnung bestanden) und Masterstudiengang Embedded Systems.

FH VORARLBERG: AUTOMATISIERTE EINFÄDELUNG UND WICKELUNG VON 3D-DRUCK FILAMENT AUF EINEN SPULENKÖRPER

Gasser, A.; Fink, P.

Kurzfassung: *Die Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Prototyps, um 3D-Druck Filament automatisiert auf einen Spulenkörper zu wickeln. Der Prototyp soll das Filament in einen Durchbruch an der Innenseite des Spulenkörpers fädeln, den Spulenkörper bewickeln und auch den Abschluss der Wicklung bilden, indem das Filamentende an zwei Durchbrüchen in den Flanken des Spulenkörpers durchgefädelt wird. Um diese Ziele zu erreichen, erfolgt eine Abwägung verschiedener Konzepte und Wirkprinzipien und in weiterer Folge die Konstruktion und Umsetzung dieser. Die Umsetzung besteht aus der Erweiterung einer bestehenden Wickelvorrichtung und beruht darauf, die Freiheitsgrade des Filaments einzuschränken und das Filament unter Verwendung eines Sechsachs-Industrieroboters während des Wickelvorgangs an einer definierten und wiederholbaren Position zu halten. Die Resultate des Aufbaus zeigen eine Möglichkeit die geforderten Ziele zu erreichen.*
Schlüsselwörter: *Einfädeln, Industrieroboter, SPS, Filament*

1. EINLEITUNG

Die Arbeit ist ein weiterer großer Schritt in Richtung automatisierte Fertigung der FD3D GmbH. Sie befasst sich mit der Entwicklung, sowie dem Testen eines Automaten, welcher in der Lage ist, völlig autonom, 3D-Druck Filamente beliebiger Materialien auf einen Spulenkörper aufzuwickeln dabei die Filamentenden zu sichern. Es wurden hierfür verschiedene Konzepte ausgearbeitet und mechanisch umgesetzt. Sie befasst sich zudem mit der Verwendung eines Sechs-Achs-Industrieroboters und der SPS Steuerung.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Der zu entwickelnde Prototyp soll mehrere manuell auszuführende Handgriffe automatisieren. Das aus Endlosextrusion stammende Filament soll automatisiert auf einen unveränderlichen Spulenkörper gewickelt werden. Der Spulenkörper weist zwei für die Wicklung relevante Merkmale auf. Einerseits befindet sich an der Innenseite des Spulenkörpers ein Durchbruch, durch welchen das Filament eingefädelt werden soll und somit den Beginn der Wicklung bildet. Andererseits befinden sich in der Flanke des Spulenkörpers zwei weitere Durchbrüche. Durch diese soll das abzuschneidende Filament nach Erreichen der geforderten Füllmenge durchgefädelt werden, um ein selbstständiges Abwickeln der Wicklung zu verhindern.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zur Umsetzung der Aufgabenstellung werden verschiedene Teilkonzepte ausgearbeitet und gegenübergestellt. Anhand der Teilkonzepte wird ein Gesamtkonzept ausgearbeitet. Die Teilkonzepte sollen Möglichkeiten zur Beförderung des Filamentanfangs zum inneren Durchbruch des Spulenkörpers und Möglichkeiten zur Sicherung des Filamentendes in der Flanke des Spulenkörpers liefern. Zum sicheren Einfädeln des Filaments in den inneren Durchbruch wird ein vertikales Einfädeln gegenüber einem horizontalen Einfädeln bevorzugt, da auf diese Weise unvorhersehbare Durchbiegungen des Filaments geringgehalten werden. Ebenfalls soll durch die Beförderung des Filaments kein abrasiver Verschleiß auftreten, daher wird auf Hohlprofile verzichtet und stattdessen sollen kugelgelagerte Umlenkrollen und Bandabzüge zum Einsatz kommen. Zur Sicherung des Filamentendes soll ein Sechs-Achs-Industrieroboter (Fanuc LR Mate 200iD/7L) zum Einsatz kommen. Durch Verwendung eines Roboters kann auf Durchfädelmechanismen verzichtet werden. Der Roboter wird mit einem Endeffektor ausgestattet, welcher zum Einfädeln des Filaments in den inneren Durchbruch und zur Sicherung des Filamentendes verwendet wird. Der Endeffektor soll durch eine klemmende Wirkung auf das Filament keine Spuren auf dem Filament hinterlassen. Weiters wird ein Wirkprinzip zur Schaffung eines wiederholbaren Wickelbilds ausgearbeitet. Hierfür soll ein Tänzer für eine konstante Zugspannung im Filament sorgen und ein weiteres Werkzeug am Endeffektor soll das Filament während des Wickelvorgangs führen.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Der in Abb. 1 dargestellte Gesamtaufbau zeigt die komplette Anlage. Darin sind alle ausgearbeiteten Komponenten enthalten.

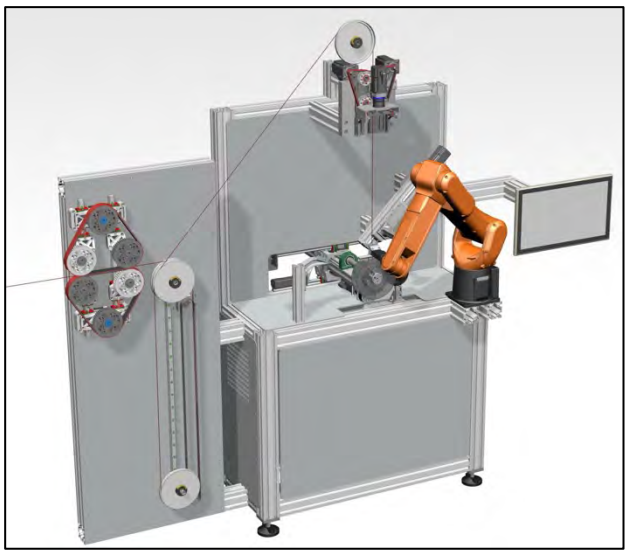


Abb. 1: Gesamtaufbau

Ein Großteil der Komponenten ist mit der im Unternehmen vorhandenen SLM Anlage aus Aluminium gefertigt. Damit ist es möglich Teile mit komplexen Geometrien zu fertigen. Zudem können die Komponenten rasch gefertigt und einzeln getestet werden.
Zwei Bandabzüge sind für den Vorschub des Filaments zuständig. Diese bestehen aus jeweils zwei geschlossenen Zahnriemen, welche über Federkraft aneinandergedrückt und einzeln angetrieben werden. Das Filament wird zwischen den

beiden Riemen eingeklemmt. Die Kraftübertragung erfolgt über die Reibung zwischen Filament und der beiden Zahnriemen. Mithilfe des maximalen Antriebsmoments der Motoren und des spezifischen Reibungswiderstandes kann die notwendige Anpresskraft ermittelt werden.
Ein Tänzer wird verwendet, um Schwingungen im Filament zu kompensieren. Dieser besteht aus zwei Kunststoffrollen, um die das Filament läuft. Dabei ist die untere der beiden Rollen vertikal beweglich gelagert und ist in der Lage mit einer einstellbaren Kraft das Filament auf Spannung zu halten.
Der Spulenhalter (Abb. 2) ist in der Lage einen Spulenkörper über Federkraft zu fixieren. Durch seine Geometrie an der der Rückseite, gibt es nur eine Möglichkeit den Spulenkörper zu platzieren und es ist somit die genaue Ausrichtung bestimmt. Über einen Hebel am Spulenhalter, welcher über eine Spiralfeder geschlossen wird, kann das Filament an der Innenseite geklemmt werden, damit ist es möglich unter Spannung zu wickeln.

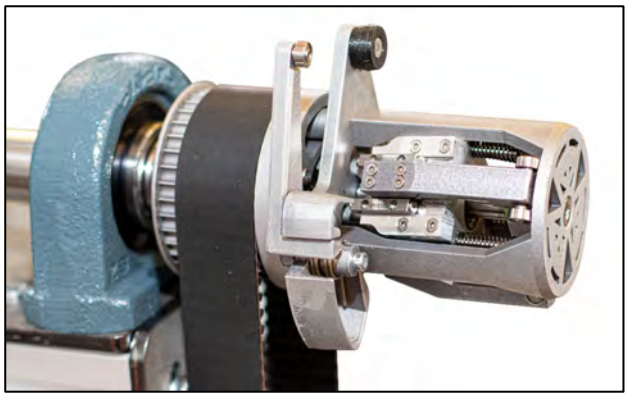


Abb. 2: Spulenhalter

5. ERGEBNISSE

Das ausgearbeitete Gesamtkonzept und die daraus resultierende Umsetzung des Gesamtkonzepts sind funktional. In Versuchen zeigt sich, dass das vertikale Einfädeln des Filaments keine Probleme bereitet. Um die Funktionalität zu testen, wird die SPS mit Testprogrammen betrieben, welche im Wesentlichen aus einer Abfolge von Fahrbefehlen bestehten und die entsprechenden Programme der Robotersteuerung auslöst. Das Testen der Funktionalität des Wickelns, des Abschneiden des Filaments und des Sicherns des Filamentendes findet auf selbe Weise statt. Versuche zeigen weiters, dass der Roboter in Kombination mit der Einfädelhilfe dazu in der Lage ist das abgeschnittene Filament in den äußeren Durchbrüchen zu sichern. Hierfür ist eine empirische Ermittlung der exakten Roboterpositionen notwendig. Eine programmiertechnische Umsetzung des Werkzeugs am Endeffektor zur Unterstützung des Wickelbilds findet nicht statt.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse zeigen, dass der entwickelte Automat in der Lage ist alle geforderten Aufgaben zu erfüllen. Es sind alle Ziele innerhalb der getroffenen Abgrenzungen erfüllt und die im Laufe der Arbeit aufgetretenen Probleme gelöst oder behoben. Das geforderte Wickelbild jeder Wicklung wird zu jetzigem Zeitpunkt noch kritisch betrachtet, da die gewünschte Gleichmäßigkeit schwer zu erreichen ist. Um diesen Punkt noch zu optimieren ist ein sehr genaues Einstellen mehrerer Parameter notwendig. Die im Unternehmen vorhandene SLM-Anlage macht es möglich einzelne Komponenten rasch zu fertigen. Dadurch können diese Komponenten vorab getestet werden und frühzeitig auf Fehlerquellen reagiert werden. Nach der Fertigstellung werden alle Komponenten an den geplanten Stellen angebracht und gegebenenfalls zueinander ausgerichtet. Nach- dem der Gesamtaufbau fertiggestellt ist, werden alle benötigten Positionen mit dem Roboter aufgenommen und daraus die für den Ablauf benötigten Unterprogramme erstellt. Außerdem werden alle Positionen des H-Bot definiert und aufgenommen. Das Programm auf der SPS, welches die gesamte Anlage steuert, wird stufenweise erstellt und laufend getestet. Eine Herausforderung stellt dabei die Findung einer passenden Herangehensweise zur Bewicklung des Spulenkörpers und des Sicherns der Filamentenden in der Spulenflanke dar. Das Unternehmen plant in weiterer Folge die hier vorgestellte Anlage weiterzuentwickeln, um sie anschließend in die laufende Produktion einzubinden. Geplant ist hierfür eine zweite Anlage, welche kürzere Verfahrwege beinhalten soll, sowie ein automatisiertes Wechseln des Spulenkörpers beinhaltet.

AUTOREN

Alexander Gasser

FD3D GmbH, Klosterstraße 13, 6923 Lauterach, +43 676 5865194, alexander.gasser@students.fhv.at

Lehrabschluss Maurer 2012, Lehrabschluss Anlagenelektriker 2016, Studienberechtigungsprüfung 2018, Abschluss Bachelorstudium 2021

Peter Fink

FD3D GmbH, Klosterstraße 13, 6923 Lauterach, +43 681 20773806, peter.fink@students.fhv.at

Matura an der HTL Rankweil (Bautechnik) 2012, technischer Projektbegleiter Glas Marte GmbH 2012 – 2018
FH Vorarlberg (Bachelorstudium Mechatronik) 2018 – 2021

FACHHOCHSCHULE VORARLBERG, BACHELORARBEIT: ENTWICKLUNG EINER AUTONOM VERSORGTEN EINSCHALTSTROMBGRENZUNG FÜR 800V DC-SYSTEME

Theobold, R.

Kurzfassung: *Bei dem Einsatz von Kondensatorspeichern in 800V Mini DC-Netzen besteht beim Aufschalten von geladenenen Speichern das Problem eines hohen Einschaltstroms. Dabei kann der Einschaltstrom über 1 kA betragen. In dieser Bachelorarbeit soll eine Schaltung entwickelt werden, die das Aufschalten der Speicher auch ohne Entladen ermöglicht und den Einschaltstrom auf verträgliche Werte begrenzt. Die Schaltung soll autonom arbeiten können.*
Dabei werden zuerst verschiedene Konzepte betrachtet und anschließend das beste Konzept weiter ausgearbeitet. In der Ausarbeitung werden zur Überprüfung der Ergebnisse Simulationen in LTspice durchgeführt und bewertet. Zuletzt werden Prototypen gefertigt, um die Eignung der entwickelten Schaltung im Praxisversuch zu testen.
Ausgewählt und entwickelt wurde eine Vorladung mittels eines PTC-Widerstands sowie eigener Spannungsversorgung und Schützansteuerung. In den Praxistests konnte die grundsätzliche Eignung bewiesen werden, jedoch sind Verbesserungen hinsichtlich des Überspannungsschutzes und der Spannungsversorgung nötig.

Schlüsselwörter: *Einschaltstrom, Einschaltstrombegrenzung, DC-Netz, Kondensatorspeicher, Energieeffizienz*

1. EINLEITUNG

Um einen effizienten Energieeinsatz in der Industrie zu erreichen, entwickelt die SEW-PowerSystems GmbH Mini DC-Netze, bei denen Kondensatorspeicher eingesetzt werden. Diese Kondensatorspeicher speichern Energie, die beispielsweise durch Rekuperation beim Absenken eines Regalbediengerätes frei wird. Eine der möglichen Aufbauarten dieses Power and Energy Solution Systems ist in der Abbildung 1 dargestellt.

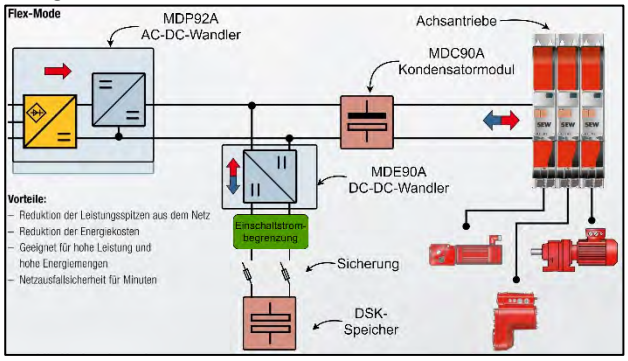


Abb. 1: Einsatz im Power and Energy Solution System [2, bearbeitet]

Bisher wird die rekuperierte Energie oft in Bremswiderständen vernichtet. Allerdings bringen die Kondensatorspeicher auch Nachteile während Serviceeinsätzen mit sich. Der größte eingesetzte Doppelschichtkondensatorspeicher (DSK-Speicher) hat bei 800 V Nennspannung 10,4 F Kapazität. Bei diesem Speicher dauert die bisher nötige Entladung mittels einer Entladeeinheit circa 90 Minuten. Die Entladung ist nötig, da es zu einem Einschaltstrom beim Wiederaufschalten des Speichers auf den zugehörigen DC-DC-Wandler kommen würde.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine Schaltung entwickelt werden, die ein direktes Aufschalten eines geladenen Doppelschichtkondensatorspeichers auf ein ungeladenen DC-DC-Wandler MDE90A ermöglicht. Dabei soll dieses Gerät unabhängig von anderen Geräten funktionieren und benötigt daher eine eigene Spannungsversorgung, Logik und Schützansteuerung.
Zuerst sollen mittels Literaturrecherche mehrere Konzepte entwickelt werden, aus denen dann über ein Bewertungsverfahren eine geeignete Schaltung ausgewählt wird. Diese wird dann mittels Berechnungen und Simulation ausgearbeitet. Anschließend ist die Fertigung einer Prototypenplatine gefordert. Zuletzt soll durch eine Reihe an Praxistests die Eignung der Schaltung bewiesen und nötige Verbesserungen erkannt werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Möchte man die Ursache eines Einschaltstroms herausfinden, lohnt sich der Blick auf die Differentialgleichung des Stroms eines Kondensators. Umgeformt ergibt sich diese Gleichung: $$i_c(t) = C \cdot \frac{du}{dt}$$
Dabei ist der Ladestrom i_c abhängig von der Kapazität C und der Schnelligkeit des Spannungsanstiegs $\frac{du}{dt}$.
Das Wirkprinzip dieser Arbeit setzt an der Schnelligkeit des Spannungsanstiegs an. Hier wird über einen Widerstand die gefährdete Kapazität langsam auf die Zielspannung vorgeladen. Erst dann wird eine niederohmige Verbindung zur Quelle hergestellt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zu Anfang des Projekts werden die Anforderungen für die Einschaltstrombegrenzung ermittelt. Die wichtigsten Anforderungen für die Entwicklung werden in Tab. 1 aufgeführt. Zu beachten ist hier unter anderem der Wunsch der erhöhten Betriebsspannung mit bis zu 1150 V. Diese Erhöhung soll es ermöglichen, auch während Fehlerfällen den Ladebetrieb zu starten.

Parameter	Wert
Kapazität	100 µF
Ladezeit	< 1 s
Abkühlzeit	< 60 s
Betriebsspannung	800 V, Wunsch 1150 V
Maximaler Ladestrom	< 100 A
Zyklen	> 100 000
Autonomer Betrieb	Ja (eigene Schützansteuerung, Spannungsversorgung)
Versorgungsstrom Netzteil	6,6 A für 20 s

Tab. 1: Anforderungen

Ausgehend von dem ermittelten Wirkprinzip werden verschiedene Konzepte durch Literaturrecherche und Brainstorming gesucht. Bei der anschließenden Bewertung stellt sich das Konzept der Widerstandsaufladung als am besten geeignet heraus. Ein Blockschaltbild dieses Konzepts ist in Abbildung 2 dargestellt.

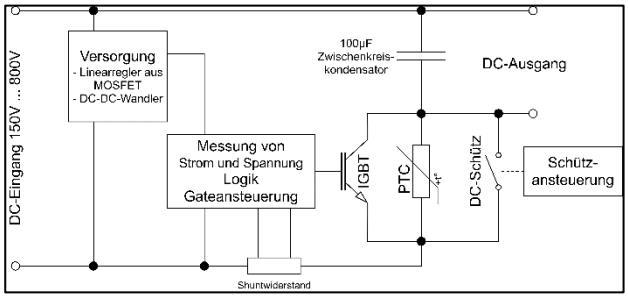


Abb. 2: Blockschaltbild der Einschaltstrombegrenzung

Die Schaltung beinhaltet mehrere wichtige Gruppen. Die Vorladung der Kapazität übernimmt ein Widerstand mit einem positiven Temperaturkoeffizienten (PTC). Dieser kann sich in Fehlerfällen selbst schützen und ermöglicht so einen eigensicheren Betrieb [1]. Nach dem Erreichen der Vorladung wird der Widerstand mit einem IGBT überbrückt. Dies stellt die erste Stufe der Überbrückung dar, mit der nun ein 24V-Netzteil versorgt wird. Dieses Netzteil stellt später die 24V-Versorgung für das DC-Schütz, das die zweite Überbrückungsstufe für den Leistungsbetrieb darstellt. Für die Entscheidung der Schaltzeitpunkte ist eine Logikeinheit mit Messmöglichkeiten implementiert. Die Logik und der IGBT benötigen eine eigenständige Spannungsversorgung, die mittels einer dreistufigen Versorgung ermöglicht wird. Dabei liegt die Herausforderung der Versorgung in dem großen Bereich der Betriebsspannung und den hohen Spannungen von 150 V bis 800V. Hier ist als erste Stufe ein Linearregler vorgesehen, welcher eine stabile 70 V Spannung bereitstellt. Dabei wird der Linearregler diskret aus einem MOSFET, sowie einer Zenerdioden-Referenzspannung aufgebaut. Mit dieser Ausgangsspannung wird dann ein integrierter Buck-Wandler gespeist. Dieser sorgt für eine Steigerung des Wirkungsgrads, um Verluste an der ersten Stufe zu reduzieren. Weiterhin wird noch ein integrierter Linearregler eingesetzt, um eine stabile Spannungsversorgung für die Logik bereitzustellen.

5. ERGEBNISSE

Für eine Überprüfung der Schaltung in der Praxis, wird eine Platine gestaltet und bestückt. Dabei werden die zu ladenden Kondensatoren auf der Platine bestückt, um eine abgeschlossene Testeinheit zu erhalten. Abbildung 3 zeigt die entwickelte Platine.

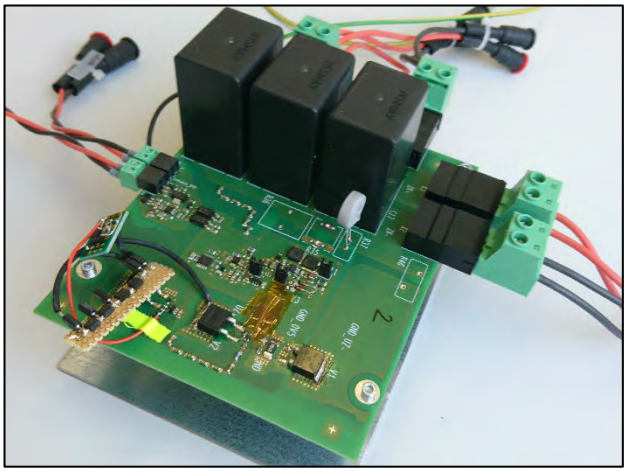


Abb. 3: Bild der Prototypenplatine

Bei den Tests mit der Platine wurden Spannungsüberschwinger beim Zuschalten der Schaltung auf den Speicher beobachtet. Diese erreichen circa das 1,5-fache der Betriebsspannung. Um Beschädigungen der Bauteile zu verhindern, wird mit einer Active-Clamping-Schaltung die Spannung begrenzt. Dies ist möglich, da die Energie in Überschwingern relativ gering ist. Trotz der Abhilfemaßnahme ist eine Zuschaltung bei der erhöhten Betriebsspannung von 1150 V mit 1200 V Halbleitern nicht möglich, da die Toleranzen der Zenerdioden der Active-Clamping-Schaltung zu hoch sind.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde ein funktionaler Prototyp einer autonom versorgten Einschaltstrombegrenzung für 800 V DC-Systeme entwickelt. In den durchgeführten Praxistests konnte die grundsätzliche Eignung der entwickelten Schaltung bewiesen werden. Dabei wurden alle Anforderungen der Spezifikation eingehalten beziehungsweise übertroffen. Weitere Schritte in der Entwicklung wären zum einen die Implementation der getesteten Active-Clamping-Schaltung und die Verbesserung des linearen MOSFET-Spannungsreglers. Zudem ist die Optimierung der Schaltung für ein Serienprodukt nötig. Die SEW-PowerSystems GmbH plant eine Weiterführung des Projekts in einer Masterarbeit.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[1] Herbert Bernstein. Elektrotechnik/Elektronik für Maschinenbauer. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2018. ISBN: 978-3-658-20837-0. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-20838-7

[2] SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG, Hrsg. MOVI-C Modularer Automatisierungsbaukasten. URL: https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/25966278.pdf (besucht am 15.09.2021)

AUTOR

Robert Theobold, BSc.

SEW-PowerSystems GmbH, Pfannerstraße 75, 88239 Wangen im Allgäu, Deutschland
robert.theobold@students.fhv.at

Geboren 1998, Abitur 2018 (Technisches Gymnasium Umwelttechnik, Wangen i. A.), 2018-2021 Bachelorstudium Mechatronik (FH Vorarlberg), ab 2021 Masterstudium Mechatronics (FH Vorarlberg)

FH WIENER NEUSTADT: CHARAKTERISIERUNG EINES HOCHAUFLÖSENDEN TESTSYSTEMS FÜR DIGITAL LIGHT PROCESSING

Haberl Sebastian

Kurzfassung: *Das Thema dieser Arbeit ist eine automatisierte Charakterisierung von Systemen der maschinellen Bilderverarbeitung. Modulare Fernlichter, die immer häufiger mit hoher Auflösung im Straßenverkehr eingesetzt werden, können gezielt Objekte wie den Gegenverkehr ausblenden. Um eine sichere Funktion zu gewährleisten, muss die optische Ausgabe mittels Bild-Vergleichs-Algorithmen mit einem Soll-Zustand verglichen werden. Neben dem Vergleich ist es erforderlich, automatische Algorithmen zur Beurteilung der Resultate zu implementieren. Die Charakterisierung erfolgt mittels statistischer Methoden welche, auf Basis der Resultate der Vergleichs-Algorithmen, Auffälligkeiten ermitteln und diese grafisch aufbereiten.*

Schlüsselwörter: *Bildverarbeitung, Statistik, Python, DLP, Datenanalyse*

1. EINLEITUNG

Scheinwerfer-Systeme bilden einen essenziellen Bestandteil des Sicherheitssystems eines Automobils. Die Zeit, um auf eine potenzielle Gefahr zu reagieren, steigt proportional mit der erreichbaren Sichtweite. Dementsprechend ist es von Vorteil, wenn die Scheinwerfer eine möglichst große Leuchtkraft aufbringen können, um das Sichtfeld zu erweitern. Demgegenüber steht jedoch die Gefahr des Blendens anderer Verkehrsteilnehmer, besonders bei aktivem Fernlicht.
Aktueller Stand der Technik sind DLPs (Digital-Light-Processing Units), die mit über einer Millionen Licht-projizierenden Einheiten eine hochpräzise Einteilung des zu beleuchtenden Bereichs bewerkstelligen (Texas Instruments, 2021). Zusammen mit einer effektiven Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer und stabilen Vergleichsalgorithmen lässt sich der negative Aspekt des Blendens kompensieren, siehe Abb. 1.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Für das Ausblenden von gezielten Bereichen ist der DLP auf äußere Inputs angewiesen. Um das gewünschte Verhalten sicherzustellen, werden diese optischen Inputs mittels Bild-Vergleichsalgorithmen mit dem Output des DLPs verglichen. Zur Sicherstellung des Ablaufs werden die Ergebnisse des Algorithmus mittels statistischer Methoden überprüft, um eine höhere Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

3. PRÜFAUFBAU UND METHODEN

Für die Umsetzung der Arbeit ist ein DMD mit Lichtbilderfassung erforderlich. Das zentrale Element stellt dabei der DLP5531-Q1 DMD von Texas Instruments dar, der mittels CAN-Bus angesteuert und mit den nötigen dynamischen Bilddaten versorgt wird. Die vom DLP generierten dynamischen Lichtverteilungen werden mittels einer hochauflösenden monochromen Kamera (Basler beA4000-62km) erfasst. Das aufgenommene Bild wird auf das für den Vergleich mit der Soll-Abbildung benötigte Format von *576x288* Pixel zugeschnitten. Der Vergleichs-Algorithmus unterteilt beide Bilder in Cluster von *18x18* Pixel, berechnet davon jeweils den mittleren Intensitätswert und bestimmt anhand dessen einen Übereinstimmungswert.

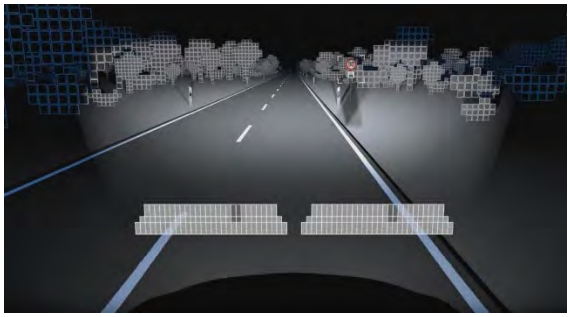


Abb. 1: Gezieltes Ausblenden von Objekten durch blendfreies Fernlicht (*K. T. S. Authority, 2021*)

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zur Beurteilung der Resultate des Vergleichsalgorithmus werden in einer Reihe von Testfällen zwischen 200 und 25000 Bilder miteinander verglichen. Die zwischen zwei Bildern resultierenden Übereinstimmungswerte werden während des Tests gespeichert und zur weiteren Analyse in ein 2D-Array umgewandelt. Zur Visualisierung werden die Datensätze in einem Histogramm dargestellt; zur Bestimmung der Anzahl der Balken wird die Regel von Freedman-Diaconis verwendet. Der Vergleichsalgorithmus berechnet die Übereinstimmung und gibt einen skalierten Wert zwischen 0 und 1 aus, wobei 1 für eine Übereinstimmung von 100% steht. Um die verschiedenen Testfälle zu vergleichen, erfolgt die Charakterisierung mit der Beta-Verteilungs-Dichte-Funktion $f(\alpha, \beta, x)$

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 y^{(\alpha-1)}(1-y)^{(\beta-1)} dy$$

$$f(\alpha, \beta, x) = \begin{cases} \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{(\alpha-1)}(1-x)^{(\beta-1)}, 0 < x < 1, \alpha, \beta \\ > 0 \\ 0, x < 0, 1 < x. \end{cases}$$

Passend skaliert (Panik und Jara, 2005) können damit auch sehr unterschiedliche Verteilungsmuster dargestellt werden. Um eine qualitative Aussage zu treffen, werden neben der Beta-Verteilung noch eine Reihe anderer Verteilungsfunktionen (zB. Normalverteilung) für den Vergleich herangezogen.
Die Parameter der jeweiligen Funktionen werden mittels der *Fitting*-Funktion, der Python-Bibliothek *Scipy*, evaluiert. Die Verteilungs-Dichte-Funktionen (PDF) werden mittels Chi-Quadrat-Test nach der Güte der Anpassung gereiht. Um einen weiteren Faktor zur Bewertung heranziehen zu können, wird zusätzlich der Test nach Kolmogorov-Smirnov implementiert.

Die sortierten PDFs werden samt deren Parameter für jeden Datensatz in ein HTML-File gespeichert. Um nicht nur Aussagen über die Gesamtheit der Daten treffen zu können, werden immer fünf Werte zu Einem zusammengefasst und diese Cluster nacheinander geplottet. Durch dieses Vorgehen wird ein großer Teil des Rauschens minimiert und ein etwaiger zeitlicher Trend sichtbar.

5. ERGEBNISSE

Der Vergleich von dunklen (μ_D) und hellen (μ_H) Bildern zeigt eine wesentlich höhere Genauigkeit des Vergleichsalgorithmus bei möglichst hoher Helligkeit ($\mu_D = 0{,}808\ mit\ \sigma_D = 0{,}0018\ gegen\ \mu_H = 0{,}977\ mit\ \sigma_H = 0{,}0012$). Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Staub-Partikel bei weißen Bildern besser kompensiert werden. Durch die digitale Arbeitsweise des DLPs ergibt sich die in Abb. 2

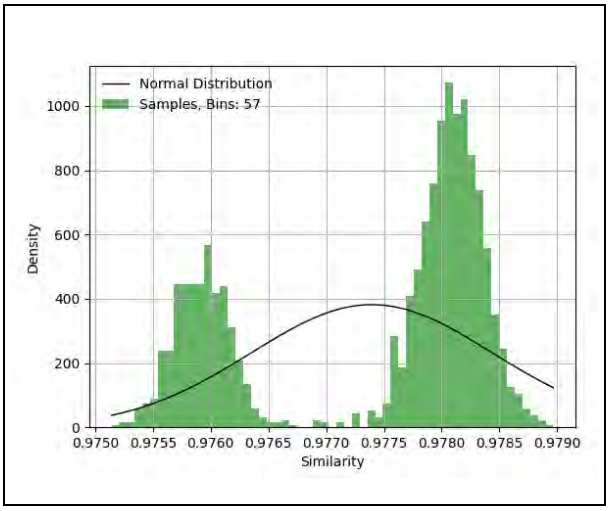


Abb. 2: Verteilung von sehr hellen Abbildungen (2500 Bilder)

ersichtliche Verteilung. Die beiden in Abb. 2 dargestellten und gut separierten Cluster sind eine Folge der kurzen Belichtungszeit und dem periodischen Umschalten der Spiegel bei der Bilddarstellung. Das Phänomen wird bei dunklen Bildern unterdrückt, da im Prozess der Bilderstellung eine Gamma-Korrektur angewendet wird.

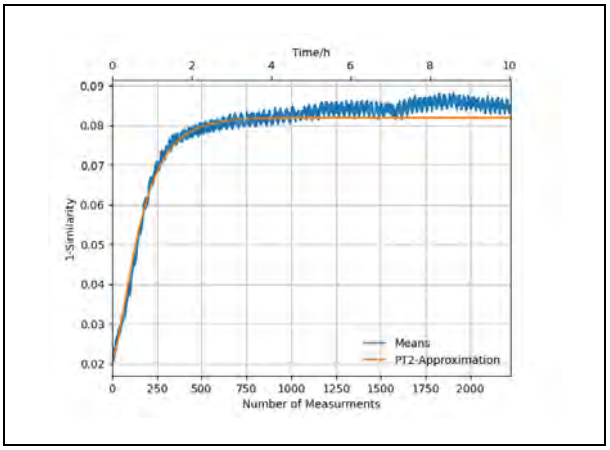


Abb. 3: Verteilung der Resultate des Vergleichsalgorithmus im transienten Zustand

Eine weitere Eigenschaft des verwendeten Test-Systems liegt in dessen Temperaturabhängigkeit: Je höher die Temperatur, desto geringer die Übereinstimmung des Vergleichsalgorithmus, siehe Abb. 3. Der Vergleich mit einer Temperaturmessung über denselben Zeitraum zeigt einen kausalen Zusammenhang. Das Verhalten wurde ausschließlich bei Langzeittests festgestellt, weil die stetig steigende Temperatur zu thermischen Ausdehnungen führt und in der Folge die Ausrichtung zwischen Kamera und DLP verändert wird. Um dieses Verhalten zu kompensieren, muss die *„Region of Interest"* der Kamera in regelmäßigen Abständen neu kalibriert werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Resultat der Arbeit ist ein universell einsetzbarer Test-Algorithmus für Anwendungen der maschinellen Bildverarbeitung. Auf Basis von gemessenen Lichtverteilungen werden Schwächen und Verbesserungsmöglichkeiten erfolgreich aufgezeigt. Die entwickelten Algorithmen liefern statistische Auffälligkeiten und bereiten diese grafisch auf. Die vorgestellte Methodik ist im Stande sowohl große Abweichungen, wie etwa durch den Einfluss der Temperatur, als auch kleine Fehler durch die Bewegungen der Spiegel zu detektieren.

7. LITERATURVERZEICHNIS

K. T. S. Authority, 2021 Cita meeting 2019 South Korea. [Online]. Available: https://cita2019.citainsp.org

Panik, MJ.; Jara LJ., 2005, *Advanced Statistics from an Elementary Point of View*, Elsevier Science and Technology, 9780120884940, San Diego

Texas Instruments, 2021, Dlp®-technologie, *Available from: https://www.ti.com/de-de/dlp-chip/overview.html*

AUTOR

Sebastian Haberl

ZKW-Elektronik GmbH, Samuel-Morse-Straße 18, 2700 Wiener Neustadt, +43 699 10964178, sebi.haberl@gmail.com

HTL Wiener Neustadt, Wissenschaftlicher Mitarbeiter FHWN, Bachelor Mechatronik/Mikrosystemtechnik, Aktuell: Software Engineer/Predevelopment, Masterstudium an der FH Wiener Neustadt

FH WIENER NEUSTADT: MECHANICAL AND ELECTRICAL CONSIDERATIONS AND IMPLEMENTATIONS FOR HIGH INTENSITY ILLUMINATION FOR MACHINE VISION APPLICATIONS IN ARC WELDING

Swoboda Anna

Abstract: *This work is focusing on the development of a high intensity light source, which is capable of illuminating different welding processes in order to enable computer vision for inline quality inspection during these processes, while being easy to install and cheaper and more flexible than commercial lights. In order to understand what it takes to ensure proper illuminance during a welding process, the spectroscopic emissions for each welding process have to be investigated. To reduce the interference of illuminant peaks in the spectrum of the welding process, wavelength filters have to be used for the camera system. Experimental tests defined the ideal filter for a chosen welding process as well as the minimum brightness the light source had to reach. The results of these first experimental tests were than taken into account for the development of the light source.*

Key Words: *Computer Vision, High Intensity Illumination, Arc Welding, Additive Manufacturing.*

1. INTRODUCTION

Welding processes are very complex procedures, where a lot of external and internal factors decide whether a certain component is fulfilling the required tensile strength and stability. Automation is not taking a halt in front of welding, making additive manufacturing of workpieces with complex shapes and geometries possible and easier and cheaper than in conventional manufacturing processes. Since welding robots do not give the same quality feedback on the weld as an experienced worker might do it is necessary to implement an external quality management system. One factor which can tell a lot about the process itself is the weld pool (Changmeng et. Al., 2017), this factor shall be investigated with the whole developed light system.

2. PROBLEM DISCRIPTION

The problems in quality inspection of automated arc welding systems are diverse. Starting from the complex physics of the melting and solidification of the workpiece ending at the difficult work surroundings with bright light, splashes of molten material and heat development. The weld pool shall be investigated with a computer vision system, which needs a bright light source to enable proper image acquisition in the first place.

This work is concentrating on developing a light source with high power LEDs for a computer vision system consisting out of two cameras, one installed directly over the welding arc and one installed sideways, only capturing the hardened weld. All images and investigations in this work were only taken with one camera, the one acquiring images directly above the welding arc.

3. MATERIALS AND METHODS

To specify the requirements of the light source experimental tests were made. These tests were made to define to required irradiance of the light source, as well as to select a wavelength filter, blocking the highest peaks of the spectroscopic intensity from the TIG welding process.

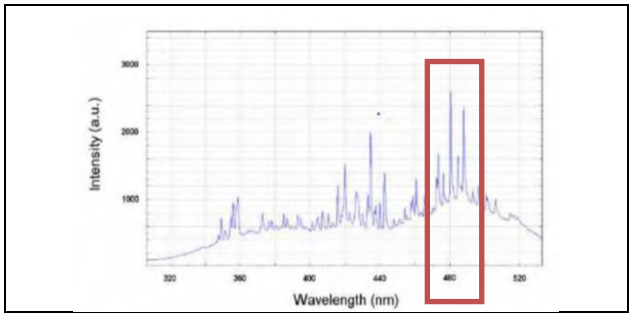


Figure 1: Spectral emissions of a TIG welding process, with the highest intensity peaks at 480nm (Mirapeix et. Al., 2007)

Figure 1 shows the spectral emissions of a TIG welding process, the highest peaks can clearly be seen at around 480nm. Different tests with wavelength filters in front of the camera lens were made with wavelengths ranging from 400nm to 750nm. The best images were taken with a 500nm wavelength filter, which is blocking wavelengths from 480nm-520nm.

The required light intensity was determined by laboratory tests, where a high-power light source, in this specific case the Chromasens Corona II, was used to illuminate the welding process while taking images of it. In these tests it was shown that an irradiance of at least 171000lx is needed for proper illuminance of the welding scene.

The materials used for the development of the light source were either 3D-printed or bought from stock. 3D printed parts included the frame, where 4 high power LEDs from Cree are mounted with lens tubes and post holders.

The camera used is an area scan camera from Basler, with a sensor size of 59.64mm². For the choice of the right focal length of the lens calculation goes as follows:

The focal length of a lens system is described by:

$$f' = a * \frac{\beta}{1-\beta}$$

Where a is the distance between the camera and the scene and β can be determined by:

$$\beta = \frac{sensorsize}{FOV}$$

Where FOV is the desired field of view, which is 10mm*10mm in this case. Using these values the calculated focal length is 44.33, resuming in using a standard lens with a focal length of 40mm.

4. PRACTICAL REALISATION

The development of the light source mainly focused on transferring as much irradiance as possible from each LED onto

the scene needing to be illuminated. The high power LEDs used are capable of providing a luminous flux of 1710lm each. To determine, how much LEDs are needed to reach the desired irradiance, a calculation has to be made.
The irradiance of one LED on a circular area is given by:

$$E = \frac{1710lm}{0.01m^2} = 171000lx$$

Measurements showed, that at a distance of 300mm above the ground, 90 000lx are transferred. The decision was made to use 4 LEDs in a circular arrangement, which should easily reach the minimum irradiance needed. For the lens system that is used to focus the light on one spot, two lenses were used. One aspheric condenser lens and one plano-convex lens, as shown in figure 2.

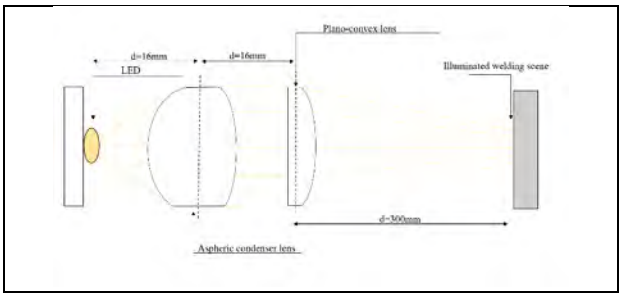


Figure 2: Arrangement of the lenses used in the light source

The lenses used are bought from Thorlabs, with focal lengths of 16mm for the aspherical lens and 300mm for the plano convex lens.
The power supply oft he LEDs was provided by a constant current source, making it possible to dim the light source without fixated steps in irradiance. The LEDs were mounted on a 3D-printed frame, which was placed over the welding scene with a mounting plate from Thorlabs. Each LED can be moved up to 90° in relation to the frame, making it easy to adjust focus of the lights.

5. RESULTS

The irradiance of the light source is dependent on the current applied to the LEDs.

Current applied on the LEDs	Irradiance of all LEDs together
100mA	49 000lx
200mA	95 800lx
300mA	140 100lx
400mA	184 200lx

Table 1: Irradiance of all LEDs together in relation to the current applied, with the lights shining directly on the luxmeter

Table 1 shows the irradiance which was measured in the laboratory. This is the maximum irradiance which could be measured, the irradiance was extrapolated for higher current values, giving an irradiance of 525 000lx at operating current of 1.4A. In the final welding tests the light source provided good results, shining bright enough for the weld pool geometry and shape to be seen. Figure 3 shows the direct comparison of one image taken without any external light source and one image taken with the external light source.

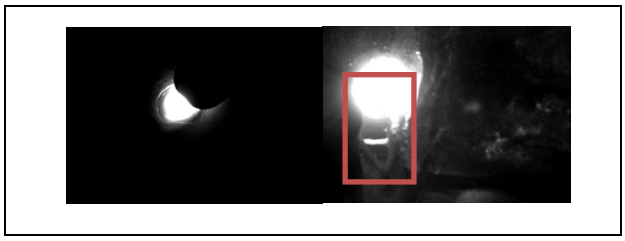


Figure 3: Comparison of the weld pool, left image was taken without any external light source, right image was taken with the developed light source where the melt pool can be seen inside the red square

In the left image no detail of the workpiece can be seen, the only thing clearly visible is the bright welding arc, leaving no place for any detail or information about the weld pool. In the right image on the other hand the welding arc can also again be seen as a bright spot, but on the lower side of the arc the ellipsoidal shaped weld pool can clearly be recognized, making it possible to define the transition from molten to solidificated material. The dimension of the weld pool can also be extracted out of the right image, as well as the geometry.

6. CONCLUSION

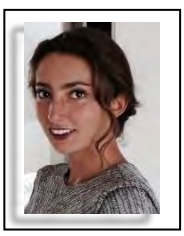
This work proved that it is possible to illuminate a welding process with a modular light source and extract enough information of the weld pool to do further CV based investigation. The developed system is easy to mount, modular and customizable for different welding robots. If this system is used in a different process than TIG welding, a spectroscopic measurement of the emissions has to be made in order to apply the right wavelength filter.

7. LITERATURE

Mirapeix J. at Al. Plasma spectroscopy analysis technique based on optimization algorithms and spectral synthesis for arc-welding quality assurance. Optics Express, 2007.

Changmeng L. et.Al. Effect of molten pool size on microstructure and tensile properties of wire arc additive manufacturing of ti-6al-4v alloy. Materials,2017.

AUTHOR



Anna Swoboda, Bsc.

AIT Austrian Institute of Technology, Giefinggasse 4, 1210 Wien, anna.swoboda@fhwn.ac.at, +43 660 5251105

Bachelor's degree in Mechatronik/Mikrosystemtechnik. Currently enrolled in the Master's programme Mechatronik at FHWN. This bachelor thesis was done for the department of High performance vision at the AIT, in cooperation with the Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen.

MCI – MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK: DESIGN OF A CNC PLANAR COIL WINDER HEAD FOR ELECTRICAL MACHINES

Grosek, W.

Abstract: *Planar windings are becoming more and more used in electrical machines like high-frequency transformers and axial flux permanent magnet motors. Furthermore, the demand for customized solutions is increasing. This usually results in long production times and expensive solutions often not affordable by small but dynamic companies. A possible answer to these questions could be provided by the design of a special tool that, used in combination with standard CNC machines would allow to produce planar windings.*

Therefore, a literature and market research was carried out. Based on hardware requirements a CNC machinery was selected. The CNC wire head was created and a technique for retracing the wire windings with PC software was developed. An evaluation of the created flat coils was carried out and improvements were suggested.

The evaluation of test runs has shown that the developed flat coil winder can produce planar coils with good quality. The choice of the right materials for the work surface and the contact surfaces between the CNC machinery and the flat coil winder are crucial for the coil quality. The wire diameter and the placement of the flat coil winder components are important factors. Variables such as the wire diameter or the shape and dimensions of the flat coil can be adjusted easily with the PC software.

Keywords: *Flat Coil Winder, CNC, planar coil, electrical windings, wire*

1. INTRODUCTION

Special electrical machines like axial flux motors and planar transformers need the design of particular windings distributed on a flat surface. To design specific flat coils in fixed dimensions and wire diameters, special hardware to manufacture them is needed.

In most cases, the flat coil has to be designed by companies specialized on this service, which can be very expensive. The proposed CNC flat coil winder is an easier and cheaper method for the production of these coils. To create these coils, an existing CNC hardware unit is selected and modified with a customized head for the placement of the electrical wire. The software on the PC is also modified, in order to place the wire in different shapes and support different diameters of wire.

2. TASK DESCRIPTION

To carry out the project, it is proposed to select an existing CNC hardware unit and modify it with a customized head for the placement of the electrical wire. The printing software on the PC has to be modified too, in order to place the wire in different shapes and support different diameters of wire. The leading questions of the thesis are: "What is the best design for a self-developed CNC flat coil winder? What are the possible coil patterns and their limitations?"

To answer these questions, the thesis will deal with the aims of selecting a suitable CNC machinery according to hardware specifications, the design of a special head for the wire and the development and adaptation of a software for the design of the coil windings. A final accuracy evaluation will be carried out on the resulting flat coils.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Definition of hardware specifications

To find the correct hardware, it is important to define the needed specifications of the CNC hardware. Either a 3D printer or a CNC machinery is suited for laying out the wire.

There are two different methods to determine the position of the head of the CNC hardware or a 3D printer: Cartesian and Delta systems. Both methods and their differences are very good described in an article by Fargo 3D printing (J. Schneider and J. Clark 2017). An advantage of a Cartesian 3D printer is that it is the more popular method, therefore there is a lot more support and software available. The axes are also more rigid and therefore the Cartesian hardware is more accurate. Another benefit is that there is more space available to mount the wire head and the copper coil compared to a Delta 3D printer. However, Delta 3D printers are in general quicker.

Because of the many advantages, a Cartesian 3D printer or a Cartesian CNC machinery is seen as the better solution for this use case.

It is also important, that the CNC hardware has a stable frame where the copper coil can be attached. The preferred material is metal. In order to place the coil, it is also important that the hardware has an open design and therefore no design with a closed casing. This makes modifications easier in general.

The modified head of the hardware, which puts the wire into a coil shape, should be easy to mount. It is a big advantage, if the new head and the existing tool can be exchanged quickly.

Taking all criteria into consideration, the "CNC4ALL KK 1000 S" is used as the hardware for the thesis. The CNC hardware features the big advantage of removing and switching the head or attached tool very quickly. With a 3D printer, it is a lot harder to remove all the printing components attached to the head and assembling them back is even more difficult.

3.2 Definition of software specifications

The software is responsible for the control of the CNC motors and therefore for the placement of the wire on the workspace. The software is divided into two separate programs: One program is used to define the shape of the coil and the other program is used to control the three motors of the CNC machinery.

The best solution for the placement of the wire is a CAD software. The shape of the coil is defined in the x/y plane and the head of the CNC hardware follows the shape and places the wire on it's way. The CAD program used for this thesis is "Fusion 360" by Autodesk. The program is very intuitive and free to use for students. Another big benefit is that the program is able to

export a drawing directly as G-code. Some other CAD programs are only able to export as a CAD format and another separate program is needed to convert the CAD file to G-code.

In the next step the G-code has to be executed by another program, which then controls the motors of the CNC machinery. For the project, "Mach3" is used to execute the G- code. The program is very popular in the CNC community and therefore support is very easy to find online. As the program is also used for CNC milling, the program is already installed on the laboratory PC and can therefore be used for both activities.

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION

4.1 CNC wire head design

The CNC wire head is attached to the CNC machinery and can be seen with its components in Figure 1. The Attachment to the CNC hardware is created with the help of a 3D printer, the mounting shaft and the wire rod are out of metal. A bore is made in the centre of the wire rod, to enable the wire to pass through the rod. The framework is created by a CNC mill and is made from metal.

The wire head receives the wire from a copper coil, rolls the wire around a bearing wheel and places the wire on a flat surface. Double sided tape is placed on the working surface to hold the wire in place. This all has to be done while the head is able to spin 360°in the x-y- plane.

4.2 CNC wire head forces

The forces at the CNC wire head can be divided into forces acting along the z-axis and forces acting in the x-y-plane. All of the forces can be seen in Figure 2.

The sum of horizontal wire force F_w and friction force F_f and their direction is the reason for the turning behaviour of the CNC head in the x-y-plane. The CNC wire head wheel wants to move along the force line of this force. Because the placement of the wheel is off- centre, compared to the rod attached to the CNC head, the only stable position for the wheel to move to is the opposite direction of the direction in which the head moves to. In that way, the head can move around freely 360° in the x-y-plane to the desired angle.

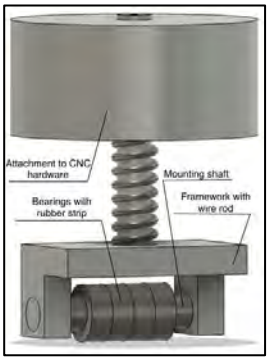


Fig. 1: Wire head components

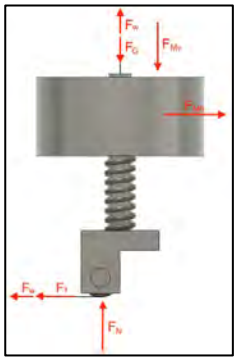


Fig. 2: Wire head forces

5. RESULT

The coil result for an axial flux motor coil can be seen in Figure 3. The resulting coil shows a good result, with small imperfections. The reason for the small imperfections and wire overlapping is the play of the rod in the bore and the use of three individual bearing wheels.

The play of the rod results in an offset to the ideal pathway for laying down the wire. The two additional outside wheels are creating unwanted forces, that affect the pathway of the wire head. There is friction between the three wheels and also additional friction between each wheel and the double-sided tape.

Fig. 3: Resulting flat coil

6. CONCLUSION

The evaluation of the results shows that the quality of the resulting coil is achieved. The coils can be created by adding the CNC flat coil winder to an existing CNC hardware. The dimensions of the CNC wire head and the used materials are very important factors for achieving good coil results.

Further improvements can be made by the elimination of the play between the rod and the bore. Because of this change, only one bearing wheel will be needed in the future and this will result in less friction and no additional forces of the outer bearings. Multi-layer planar coils will also be created in the future. This is possible by creating a one-layer planar coil, applying epoxy resin when finished and then using the same wire for the next layer.

7. REFERENCES

Schneider, J., Clark, J., 2017 How to Choose Between Cartesian and Delta 3D Printers. Fargo 3D Printing, 2017, November 15. [Online]. Available: https://www.fargo3dprinting.com/choose-cartesian-delta-3d-printers/ [Accessed: 2020, December 3]

AUTHOR

Ing. Wolfgang Grosek, B.Sc.

MCI-Mechatronik, Maximilianstr. 2, 6020 Innsbruck, +43 512 2070-0, w.grosek@mci4me.at

2021–Heute: M.Sc. Mechatronic & Smart Technologies, MCI Innsbruck • 2021-Heute: Project member Mechatronic, MCI Innsbruck • 2019-2021: B.Sc. Mechatronic, MCI Innsbruck • 2017-2019: Software developer, Liebherr Telfs • 2016-2017: Software developer, Ematric • 2010-2015 Electric. Eng. Matura, HTL Anichstraße

MCI: ENTWICKLUNG EINER PLATTFORM ZUR DATENAUFZEICHNUNG UND EINSTELLUNG VON MOTORRADFAHRWERKEN

Santeler, R.

Kurzfassung: *Die Qualität eines mechatronischen Systems wird stark dadurch bestimmt, wie gut dieses an seine Anforderungen und Umgebung angepasst ist. Die dazu nötigen Messungen sind bei spezialisierten Systemen und außerhalb einer kontrollierten Laborumgebung oft unkomfortabel und aufwendig. Dies wird am Beispiel eines Motorradfahrwerksystems sehr deutlich. Dutzende, voneinander abhängige Parameter müssen auf den spezifischen Einsatz abgestimmt werden, damit die beste Systemleistung erzielt wird. Um dies reproduzierbar zu bewerkstelligen, ist es unumgänglich Daten aufzuzeichnen und zu vergleichen. Deshalb wird zunächst die Entwicklung einer universellen Mikrocontroller-Plattform zur Kalibrierung, Erfassung, Überwachung und Aufzeichnung von Sensordaten beschrieben. Das hochmodular konzipierte System implementiert hierbei ein grundlegendes Betriebssystem für Touchscreen-Menüs sowie mehrere Konzepte für den effizienten Umgang mit Sensordaten und der Speicherung dieser auf einer SD-Karte. Im Anschluss wird das System für die Überwachung von Motorradfahrwerken ausgelegt und erweitert. So erlaubt es vorab die Erfassung der Federwege, lässt sich jedoch einfach auf spezifische Anwendungsfelder ausbauen. Das implementierte Menü unterstützt den Benutzer bei der Kalibrierung, Referenzwertanpassung und der Dateienverwaltung, um darauf aufbauend Werte in Form von Graphen anzuzeigen. Zudem werden die Daten auf Wunsch effizient aufgezeichnet und konvertiert. Die Entwicklung des Systems ist auf Grundlage der Anforderungen als Erfolg zu bewerten. Die durchgeführten Testmessungen zeigen vielversprechende Ergebnisse im Hinblick auf die Qualität der Daten.*

Schlüsselwörter: *Mikrocontroller, Plattform, Sensordaten, Kalibrierung, Motorradfahrwerk*

1. EINLEITUNG

Die Leistungsfähigkeit eines mechatronischen Systems wird stark dadurch bestimmt wie gut dieses an seine Anforderungen und die Umgebung angepasst ist. Die dazu nötigen Messungen sind bei spezialisierten Systemen und außerhalb einer kontrollierten Laborumgebung oft unkomfortabel und aufwendig. Dies wird am Beispiel eines Motorradfahrwerksystems sehr deutlich. Um die beste Leistung zu erzielen, müssen dutzende Parameter präzise abgestimmt werden. Hierzu ist es unumgänglich Daten aufzuzeichnen und zu vergleichen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Gesucht ist somit eine mobile Plattform, welche zur Erfassung, Kalibrierung, Verarbeitung und Aufzeichnung von Sensordaten verwendet werden kann. Daher wird zunächst die Entwicklung einer solchen universellen Mikrocontroller-Plattform beschrieben. Diese wird dann für den Anwendungsfall einer Fahrwerksüberwachung ausgelegt. Dazu werden Anforderungen aufgestellt und ein System, bestehend aus einer Haupteinheit und Laser-Positionssensoren, entwickelt (Abb. 1).

Abb. 1: Konzept mit Haupteinheit und Sensoren am Fahrzeug.

3. AUFBAU

Die Hardware der Plattform besteht aus einem Infineon XMC4700 Entwicklungsboard, einem 4.3” Touch-TFT sowie einer eigens entwickelten Hauptplatine [2], welche die Stromversorgung, die Verbindung der Komponenten, die Messschaltungen und die Schnittstellen nach außen übernimmt (Abb. 2). Diese werden in einem speziell für die Anwendung in diesem Projekt entwickelten Gehäuse vereint.

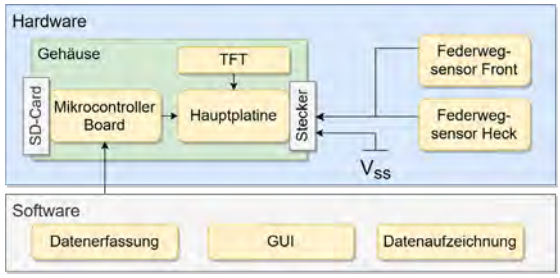


Abb. 2: Komponentenübersicht der Hard- und Software.

4. SOFTWARE

Das Softwarekonzept (Abb. 3) orientiert sich an den Hauptprozessen der Datenerfassung, Menüverwaltung und Datenaufzeichnung. Für jeden dieser Bereiche werden optimierte, skalierbar wiederverwendbare Module implementiert und angepasst. Unter anderem wird dabei ein umfangreiches Menü-Framework entwickelt.

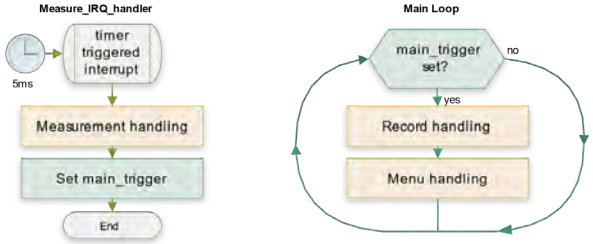


Abb. 3: Die Messung wird durch einen Timer ausgelöst, welcher wiederum die Ausführung der Hauptschleife führt.

4.1 Benutzeroberfläche

Das implementierte Menü-Framework stellt, äquivalent zu einem Betriebssystem, grundlegende Funktionen der Benutzerbedienung wie Menüwechsel durch Wischen, eine Tastatur und bequem verwendbare Steuerelemente zur Verfügung. Als Beispiel für die Verwendung sei hier das Sensor-Kalibrierungs-Menü (Abb. 4) erwähnt. Dieses dient dem Anpassen der rohen Messwerte an die realen Werte. Dabei wird der Sensorwert bei mehreren Federtiefen erfasst und mit den real gemessenen Werten zu Punkten verbunden, um mittels Curve-Fitting eine Referenzkurve zu erhalten.

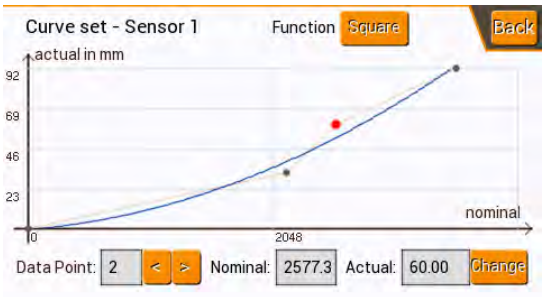


Abb. 4: Erfassung der Referenzwerte (Messung/Real), sowie einer Kurve um u.a. Nicht-Linearitäten auszugleichen.

4.2 Datenaufzeichnung

Die Aufzeichnung wird auf die Verwendung eines speziell angepassten First-In-First-Out Puffers (Abb. 5) ausgelegt. Dieser ist in 4 Blöcke unterteilt, welche bei jeder Messung zeilenweise beschrieben werden bis der Nächste voll ist. Ist ein Block gefüllt, wird dieser als abgeschlossen markiert und kann beim nächsten Aufzeichnungszyklus auf die SD-Karte übertragen werden. Dieses Konzept erlaubt es, das Aufzeichnen und Abspeichern der Messwerte asynchron laufen zu lassen. Darauf aufbauend sind hohen Datenraten sowie das Ausgleichen etwaiger Rückstaus durch variierende Latenzen der SD-Karten möglich.

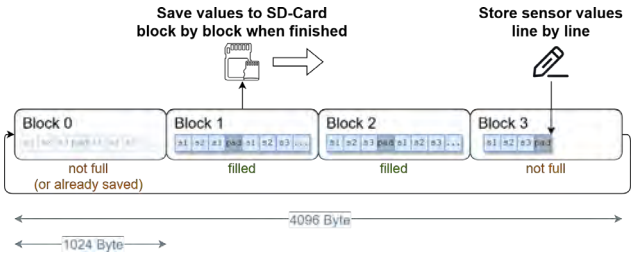


Abb. 5: Funktion des FIFO Puffers. Hier wird Block 3 gerade befüllt und Block 1 auf die SD-Karte übermittelt.

5. ERGEBNISSE

In Abb. 6 ist die Aufzeichnung einer Vollbremsung aus 50 km/h mit Blick auf die Bewegung des Hecks dargestellt. Die drei Messungen, welche mit verschiedenen Dämpfereinstellungen durchgeführt wurden, zeigen zwischen Sekunde 1 und 3 die Bremsung (Ausfedern) und danach das Zurückfedern des Hecks.

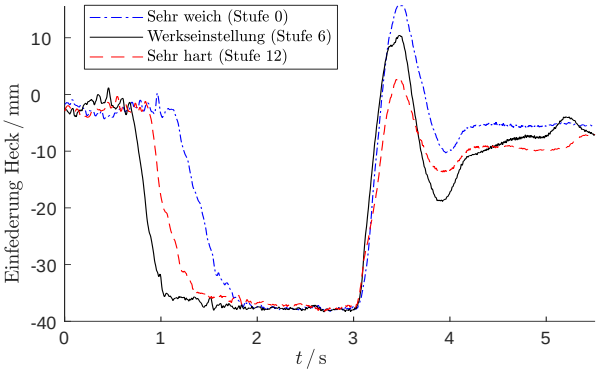


Abb. 6: Aufzeichnung des Hecks bei einer Vollbremsung mit verschiedenen Dämpfereinstellungen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Zuge des Projektes wurde eine Mikrocontroller-Plattform zur Erfassung von Sensorwerten anhand einer Motorradfahrwerks-Überwachung realisiert. Dazu wurde ein umfassender Auswahlprozess für die Komponenten durchgeführt, drauf aufbauend die Hardware entwickelt, ein anforderungsgerechtes Firmwarekonzept konzipiert sowie ausgearbeitet und das Gesamtsystem ausgiebig getestet. Das Resultat des beschriebenen Entwicklungsprozesses ist als Erfolg zu bewerten. Zudem bot die Entwicklung der ausgearbeiteten Konzepte einen tiefen Einblick in die Materie und bietet auch bei zukünftigen Projekten Wiederverwendungspotential.

Bei zukünftigen Entwicklungen ist eine Achsbelastungs-messung vorgesehen. Hierbei sollen anhand von Bodenabstandsensoren Rückschlüsse auf die Reifen-komprimierung und deren Belastung ermöglicht werden. Durch eine präzise Schräglagenmessung anhand von gefilterten Beschleunigungswerten (Kalman-Filter [1]) ist es so möglich im Zuge einer spiralförmigen Kalibrierungsfahrt eine Referenzkurve aufzunehmen, welche dann zur Kompensation von Schräglageneffekten verwendet wird.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Becker A., 2021, Introduction to Kalman Filter, *Available from:* https://www.kalmanfilter.net *Accessed: 2021-05-14*

S. Reinmüller and R. Santeler, 2021, Design of the DAQ Platform Shield “Explosive Cat”, Projektabgabe MCI

AUTOR

Rene Santeler

MCI Mechatronik, Maximilianstraße 2, 6020 Innsbruck, rene.san@gmx.at

Lehre als Informationstechniker an der Universität Innsbruck, ab 2013 Systementwickler mit Fokus auf Automatisierung von Klientenmanagment-Systemen und Datenbank-Einbindung, Projektleitung zentraler IT Projekte an der Universität Innsbruck, ab 2018 berufsbegleitendes Bachelor Studium am MCI Mechatronik

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Einreichungen
MASTERARBEITEN

FH CAMPUS 02: GREIFTECHNOLOGIEN FÜR DIE AUTOMATISIERTE HANDHABUNG VON FORMINSTABILEN OBJEKTEN IN INTRALOGISTISCHEN SYSTEMEN

Ing. DI Michael Klug, BSc

Kurzfassung: *Die KNAPP AG, als ein führender Anbieter im Bereich industrieller Lagerautomation, sieht am Markt große Potenziale für Lösungen, welche die manuelle Handhabung biegeschlaffer Bekleidungsartikel in Distributionszentren automatisieren. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein methodisches Vorgehen für die Entwicklung eines Robotergreifers zu definieren und ein Greiferkonzept für die Handhabung biegeschlaffer Bekleidungsartikel zu entwickeln und zu validieren. Anfangs werden in der Literatur bestehende Entwicklungsmodelle untersucht, aus welchen ein methodisches Entwicklungsvorgehen für die Greiferentwicklung abgeleitet wird. Anschließend wird das definierte Entwicklungsvorgehen angewendet, wofür zunächst eine Anforderungsanalyse durchgeführt wird und der Stand der Wissenschaft und Technik von Greifprinzipien und bestehenden Greiferkonzepten mittels Literatur-, Web-, und Marktrecherchen ermittelt wird. Unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen und Funktionen wird ein Greiferkonzept definiert, welches softwaregestützt, 3D-konstruiert und dimensioniert wird. Danach wird von dem entwickelten Greifer ein Prototyp realisiert, mit welchem das Greiferkonzept getestet und validiert wird. Die abschließende Auswertung der Test- und Validierungsergebnisse zeigt, dass der entwickelte Robotergreifer gemäß den erwarteten Eigenschaften funktioniert, jedoch noch weitere Anpassungen am Greifer notwendig sind.*

Schlüsselwörter: *Vorgehensmodelle, Effektoren, Greifertechnik, Greifprinzipien, Prototyp*

1. EINLEITUNG

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und der hohen Kosten von Arbeitskräften werden in intralogistischen Systemen immer häufiger Robotersysteme für die automatisierte Handhabung von Artikeln eingesetzt. Aktuell findet man im Produktportfolio der KNAPP AG ausschließlich das Pick-it-Easy Robot System (Abb. *1*), wobei dieses Robotersystem für die automatisierte Handhabung von quaderförmigen, formstabilen Artikeln ausgelegt ist und kontinuierlich für die Handhabung biegeschlaffer bzw. forminstabiler Artikel adaptiert werden soll. Aus diesem Grund ist eine neue und innovative, an die Anforderungen der Konfektionsindustrie adaptierte, flexible Greiftechnologie für das Pick-it-easy Robot System erforderlich.

Abb. 1: Pick-it-Easy Robotersystem (KNAPP AG).

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die biegeschlaffen Materialeigenschaften und die verschiedenen Verpackungsmaterialien, welche zum Transport und Schutz der Textilien eingesetzt werden, verursachen einige technische Schwierigkeiten bei der automatisierten Handhabung von biegeschlaffen Textilien bzw. Artikeln. Diese technischen Schwierigkeiten verursachen in automatisierten Lösungen instabile Handhabungsprozesse, welche meist mit nur geringen Handhabungsgeschwindigkeiten und verhältnismäßig niedrigen Pickleistungen ablaufen. Aufgabenstellung dieser Masterarbeit ist es, zunächst ein methodisches Vorgehen für die Entwicklung eines Robotergreifsystems zu definieren, welches auf der Basis einer Anforderungsanalyse aufbaut. Im Zuge der Anforderungsanalyse sind auch mögliche zukünftige, nachhaltige Verpackungsmaterialien, welche die Greiftechnologien beeinflussen können, zu erarbeiten. Darüber hinaus soll das methodische Vorgehen die Realisierung eines Prototyps von einer ausgewählten Greiftechnolgie beinhalten, wobei diese, sofern notwendig, im Zuge dieser Arbeit zu konstruieren und zu dimensionieren ist. Des Weiteren ist es Aufgabe, den Prototypen anhand zu definierender Testfälle zu testen, die Testergebnisse zu interpretieren und gegenüberzustellen. Auf Basis der Testergebnisse ist im Anschluss eine Empfehlung für die KNAPP AG abzugeben.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die stets zunehmende Produktkomplexität, bewirkt einen permanenten Wandel des Produktentwicklungsprozesses. Daraus leitet sich die Forderung nach einem modernen, multidisziplinären und integrierten Produktentwicklungsprozesses ab, dessen Aufgabe es ist, die Engineering Tätigkeiten in den Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik, Elektronik und Software über den gesamten Produktlebenszyklus und über die Bereichsgrenzen eines Unternehmens hinaus organisatorisch und systematisch einzubinden und zu unterstützen. Für die Definition eines solchen Entwicklungsprozesses sind zunächst das Münchner Vorgehensmodell, das Vorgehensmodell für mechatronische Produkte nach VDI 2206 (V-Modell) sowie das Vorgehensmodell für mechanische Produkte nach VDI 2221 mittels Literaturrecherche analysiert. Daraus ist der nachfolgende Produktentwicklungsprozess abgeleitet (Abb. *2*).

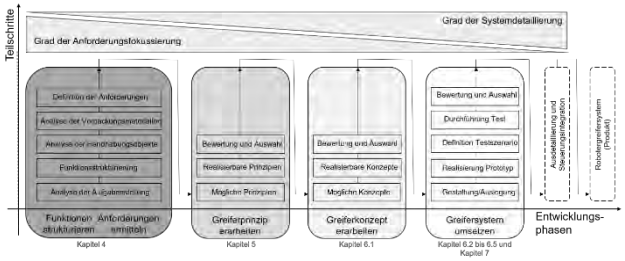


Abb. 2: Produktentwicklungsprozess (Eigene Darstellung).

Die für den Durchlauf des definierten Produktentwicklungsprozesses erforderlichen Grundlagen der Effektorentechnik sowie der Stand der Wissenschaft und Technik von Greifprinzipien ist mittels Literatur-, Web-, Markt- und Patentrecherche

erarbeitet. Um die Anforderungen an den Greifer zu definieren, wurde zunächst auf Basis von Kunden- und Mitarbeiterbefragungen eine Funktionsstrukturierung (Use Case Analyse) durchgeführt. Des Weiteren wurde für die Anforderungsdefinition eine softwaregestützte Produktanalyse (Analyse von Masterdaten) durchgeführt. Die Konstruktion und die Berechnung (FEM) des neuen Greifers wurde mit der CAD-Software Creo Parametric 5 sowie dem integrierten Berechnungstool Creo Simulate erstellt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

In Praxisteil dieser Arbeit ist eine, den definierten Anforderungen entsprechende, Greifertechnologie konzeptioniert, konstruiert und dimensioniert, sodass letztlich ein Prototyp des Greifers realisiert werden kann, mit welchem es möglich ist, die erwarteten Eigenschaften der Greifertechnologie anhand definierter Testszenarien zu validieren. Aus der Anwendung verschiedener Brainstorming-Methoden, welche auf Basis der erarbeiteten Wirkprinzipen und Greifprinzipien aufgebaut sind, ist für die definierten Anforderungen und Funktionen ein Greifkonzept definiert. In diesem Greiferkonzept ist für eine möglichst hohe Prozesssicherheit das primäre Greif- und Wirkprinzips (Vakuumsauger und Unterdruckkräfte) mit einem zusätzlichen, sekundären Greif- und Wirkprinzip (Klemmgreifer und Reibkräfte) kombiniert. Aus mehreren iterativ ablaufenden Überarbeitungen der 3D-Modellierung und Berechnung, bei welchen der Detaillierungsgrad schrittweise zunimmt, resultiert der in *Abb. 3* b) abgebildete, modular und skalierbar aufgebaute Greifer, wobei in *Abb. 3* a) die jeweiligen Baugruppen und Module in einer Explosionsdarstellung ersichtlich sind.

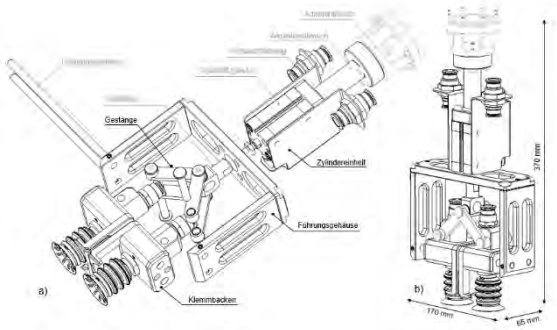


Abb. 3: Entwickelter Robotergreifer; a) Explosionsdarstellung, b) Zusammengesetzte Darstellung (Eigene Darstellung).

Für die Realisierung eines Prototyps sind von dem zuvor beschriebenen 3D-Modell softwaregestützt entsprechende Fertigungsunterlagen (Fertigungszeichnungen, Stücklisten) abgeleitet. Der Prototyp ist in weiterer Folge für die Versuchsdurchführung bzw. für die Validierung des Konzeptes verwendet.

5. ERGEBNISSE

Im Zuge der Versuchsdurchführung sind insgesamt 60 Greifversuche durchgeführt. Die nachfolgende Abb. *4* zeigt den Ablauf einer Versuchsreihe mit den realisierten Prototypen.

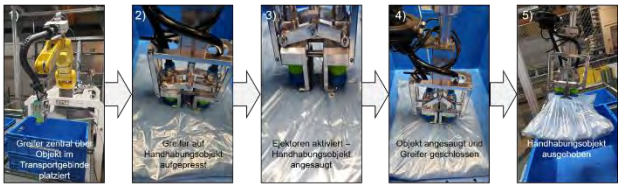


Abb. 4: Ablauf einer Versuchsreihe (Eigene Darstellung).

Die nachfolgende Tab. *1* zeigt die statistische Auswertung der durchgeführten Versuche. Daraus wird ersichtlich, dass rund 98 % der Polybags respektive Handhabungsobjekte von den Vakuumsaugelementen angesaugt werden. 93 % der Handhabungsobjekte werden erfolgreich aus dem Transportgebinde gehoben. Aus der Auswertung der Versuche geht aber auch hervor, dass noch weitere kleine Anpassungen und Optimierungen am Greifer notwendig sind.

Produktgruppe	1	2	3	4	5	6	Gesamt	
	Hemden	u.a. T-Shirts	Lange Hosen	Kurze Hosen	u.a. Pullover	Unterwäsche		
Anzahl ges.	10	10	10	10	10	10	60	100%
Erfolgreich angesaugte Polybags	10	10	10	10	10	9	59	98%
Erfolgreiche Faltenbildung/ Erfolgreich geklemmte Falte	8	10	8	9	8	7	50	83%
Geklemmte Falte nach Ausheben	7	9	7	7	6	6	42	70%
Erfolgrei ausgehobene Polybags	10	10	7	10	10	9	56	93%

Tab. 1: Testergebnisse (Eigene Darstellung).

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aus den durchgeführten Versuchen geht hervor, dass das erarbeitete Greiferkonzept bzw. der entwickelte Robotergreifer zum einem validiert ist und zum anderen große Potenziale für die sichere und zuverlässige Handhabung von biegeschlaffen Artikeln der Konfektionsindustrie (Polybags) aufweist. Aus diesem Grund wird der KNAPP AG empfohlen, den Greifer weiter zu optimieren und mit dem optimierten Greifer weitere Versuchsreihen durchzuführen. Des Weiteren wird der KNAPP AG bei erfolgreich weiterführenden Tests empfohlen, zur Reduktion der Selbstkosten zu prüfen, ob die komplex zu fräsenden Bauteile mittels additiver Fertigungsverfahren (Rapid Manufacturing) herstellbar sind sowie kritische Bauteile und Komponenten zu identifizieren und mit diesen entsprechende Dauerfestigkeitsversuche durchzuführen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

KNAPP AG (2018): KNAPP AG https://www.knapp.com/en/newsroom/downloads/ [Stand: 05.08.2020]

AUTOR

Ing. DI Michael Klug, BSc

KNAPP AG – Günter Knapp Straße 5-7, 8075 Hart b. Graz, +43 676 89793245, michael.klug12@knapp.com

seit 2015: KNAPP AG, Hart bei Graz, Projektmanager
2009 – 2014: HTBLA Graz Gösting – Dislozierung Voitsberg, Schwerpunkt Fertigungstechnik
2016 – 2019: FH CAMPUS 02, berufsbegleitendes Bachelorstudium Automatisierungstechnik
2019 – 2021: FH CAMPUS 02, berufsbegleitendes Masterstudium Automatisierungstechnik-Wirtschaft

FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG EINES BEARBEITUNGSKOPFES FÜR FRICTION STIR SCHWEIßPROZESSE

Tobias Pirker

Kurzfassung: *Im modernen Leichtbau wird immer mehr auf Aluminium gesetzt. Um solche Legierungen fertigungstechnisch fügen zu können, wäre es zweckdienlich, Aluminiumteile durch Verschweißen verbinden zu können. Mit den herkömmlichen Schmelzschweißverfahren stößt man aber bei Aluminiumlegierungen schnell an die Grenzen des Machbaren. Eine Alternative zu den herkömmlichen Schweißverfahren bietet das innovative Schweißverfahren des Friction Stir Welding (FSW). Durch dieses noch recht neuartige Verfahren können auch Aluminiumlegierungen verbunden werden, die mit den herkömmlichen Schmelzschweißverfahren nicht möglich sind. Aus diesem Grund wird der Prozess des FSW-Schweißens immer breiter eingesetzt, womit aber auch die Anforderungen an diese Technologie steigen. Mit den neuen Herausforderungen, wie immer größeren Materialstärken, neuen Aluminiumlegierungen und eventuell sogar Stahl, durch die FSW- Technologie verbinden zu können, erhöhen sich auch die Anforderungen an die Schweißeinheiten. Aus diesem Grund entstand die Forderung einen Bearbeitungskopf für sehr hohen Prozesskräfte zu entwickeln. Mit diesem neuartigen Konzept soll in dem Bereich des Friction Stir Welding eine Leistungsbenchmark gesetzt, und so eine Differenzierung zu den Mitbewerbern geschaffen werden.*

Schlüsselwörter: *Innovativer Fertigungsprozess, moderner Leichtbau, Friction Stir Welding, hohe Prozesskräfte*

1. EINLEITUNG

Mit wachsendem Klimabewusstsein und dem Trend zu möglichst effizienter Energienutzung steigt nicht nur die Forderung, neue zukunftsweisende Antriebskonzepte zu entwerfen, sondern auch im Bereich des Leichtbaues werden ständig neue Konzepte entwickelt. Besonders im Anwendungsbereich der Leichtbaumaterialien erhöhen sich auf Grund von neuen Legierungen die Anforderungen an die Verbindungstechnik. Mit den herkömmlichen Schmelzschweißverfahren stößt man bei Aluminiumlegierungen schnell an die Grenzen des Machbaren. Aus diesem Grund wird vor allem in der Automobil-, Schienen- und Raumfahrtindustrie auf das innovative Fertigungsverfahren des Friction Stir Welding gesetzt. Mit diesem noch recht neuartigen Verfahren können Aluminiumlegierungen mit einer besonders hohen Qualität und auch Genauigkeit verbunden werden, die mit den herkömmlichen Schmelzschweißverfahren nicht möglich sind. Die Firma HAGE Sondermaschinenbau hat mit dieser Technologie eine wichtige Kernkompetenz geschaffen und zählt in diesem Bereich zu den Technologieführern. So konnten auch schon Anlagen für die Raumfahrt geliefert werden, auf denen die Tanksegmente der europäischen Trägerrakete Ariane 6 gefertigt werden.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die neuen Herausforderungen an die Friction Stir Welding-Technologie (FSW), wie immer größere Materialstärken, neue Aluminiumlegierungen und eventuell sogar Stahl, durch die FSW- Technologie verbinden zu können, steigen auch die Anforderungen an die Schweißeinheiten. Aus diesem Grund ergibt sich die Forderung im Zuge dieser Masterarbeit einen Bearbeitungskopf für sehr hohe Prozesskräfte zu entwickeln. Mit diesem neuartigen Konzept soll in dem Bereich des Friction Stir Welding die Technologieführerschaft weiter ausgebaut werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Beim Friction Stir Welding Verfahren wird das Material nicht wie bei Schmelzschweißverfahren zu einem Schmelzbad aufgeschmolzen, sondern durch Reibungsenergie nur in einen teigigen Zustand übergeführt. Für den FSW- Prozess wird ein spezielles nicht schmelzendes FSW- Werkzeug verwendet, dass beispielhaft in Abb. 1 dargestellt ist.

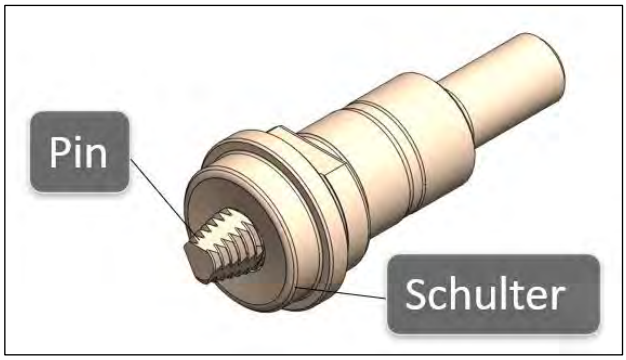


Abb. 1: FSW- Werkzeug

Bei dem, in Abb. 2 dargestellten FSW- Prozess, wird das rotierende Werkzeug mittels einer axialen Krafteinwirkung auf die Stoßkanten der zu verschweißenden Werkstücke gedrückt. Durch den Druck und die Rotation des Werkzeuges entsteht Reibungswärme, welche das Material unter sich erwärmt. Ist das Material durch die entstandene Wärme ausreichend plastifiziert, wird das Werkzeug über eine Vorschubbewegung entlang der Stoßkante der Bauteile geführt. Dabei wird das plastifizierte Material um das Werkzeug transportiert, verdichtet und bildet nach dem Abkühlen eine feste Verbindung respektive Schweißnaht.

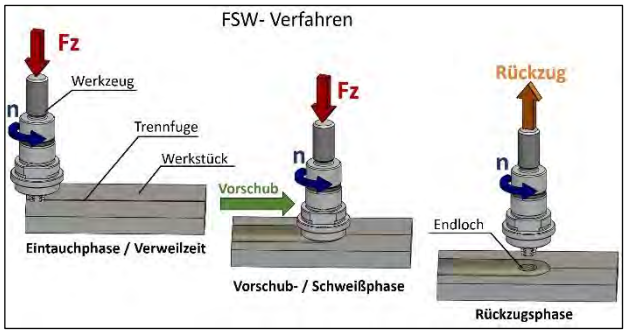


Abb. 2: FSW- Prozess

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Als Highlight des komplexen Bearbeitungskopfes (in Abb. 3 abgebildet) ist eine selbstentwickelte FSW- Spindel zu erwähnen, die Axialkräfte von 130kN und Querkräfte von 80kN bei einer Drehzahl von bis zu 3000min^{-1} ermöglicht. Neben der zur Kraftregelung benötigten Axialkraftmessung können auch die radialen Prozesskräfte gemessen werden. Dies wird über das als Messgrößenaufnehmer ausgeführte Spindelgehäuse mittels applizierten Dehnungsmesstreifen realisiert. Damit können die auftretenden Vorschub- und Querkräfte gemessen und für Monitoring- und Prozessentwicklungs- respektive Optimierungszwecke aufgezeichnet werden.

Abb. 3: FSW-Portalanlage

Zusätzlich wurde in den Bearbeitungskopf eine mit Kraftmessungstechnologie ausgestattete V-Achse integriert, die den Einsatz von zweigeteilten Werkzeugen mit einer RPT-Funktion ermöglicht. Das heißt, der Werkzeugpin kann unabhängig von der Werkzeugschulter NC-gesteuert verfahren werden. Dies ermöglicht das Verschließen des für den FSW-Prozess typischen Endloches am Ende der Schweißnaht.
In der Abb. 4 ist auf der rechten Seite eine FSW- Naht dargestellt, die ohne RTP- Funktion geschweißt wurde und auf der linken Seite ist eine Naht dargestellt, bei der das Endloch mittels RTP- Funktion verschlossen wurde.

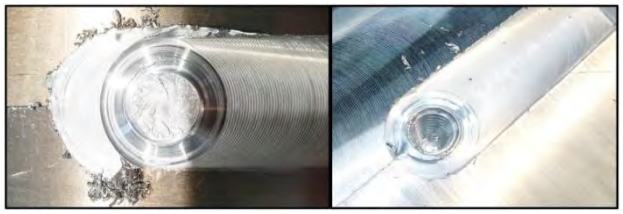


Abb. 4: Vgl. RPT-Naht und normale Naht

Ein weiteres Highlight der Neuentwicklung ist der automatische Werkzeugwechsel, der nicht nur für einteilige, sondern auch für zweiteilige RPT- Werkzeuge möglich ist. Bisher konnten RPT-Werkzeuge nur manuell in die Anlage eingewechselt werden, was zu hohen Nebenzeiten führte. Durch die Entwicklung einer speziellen Werkezugaufnahme ist erstmals ein vollautomatischer Werkzeugwechsel möglich, sodass eine signifikante Effizienzsteigerung erzielt werden konnte. Zusätzlich ist die Werkzeugaufnahme durch das robuste Design, im Gegensatz zu den am Markt verfügbaren Standard-Werkzeugaufnahmen für Fräsapplikationen, den hohen Prozesskräften gewachsen.

5. ERGEBNISSE

Neben den bereits geschweißten Bauteilen mit großen Wandstärken (35 mm) zeigen Tests, bei denen dünne Aluminiumbleche verschweißt wurden, ebenfalls sehr gute Ergebnisse. Damit ist das entwickelte Aggregat nicht nur für große Kräfte und Momente geeignet, sondern auch feinfühlig genug, um dünne Bleche verschweißen zu können, sodass ein sehr großer Einsatzbereich abgedeckt werden kann.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Praxistest zeigt die Funktions- und Leistungsfähigkeit des FSW- Bearbeitungskopfes und so kann dieser auch in Zukunft für Kundenprojekte zum Einsatz kommen. Durch die nun aufgezeigte Benchmark kann gesichert werden, dass das Unternehmen weiterhin zu den Technologieführen im Bereich des FSW-Schweißens gezählt werden kann.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Givi, M.; Asadi , P., (2014). *Advances in Friction Stir Welding and Processing*, 1 Auflage, Woodhead Publishin, Cambridge

Mishra, R.; Kumar, P. (2014): *Friction Stir Welding and Processing Science and Engineering*, 1. Auflage, Springer, Schweiz

AUTOR

Dipl.-Ing. Tobias Pirker, BSc
HAGE Sondermaschinenbau GmbH, Hauptstraße 52e, 8742 Obdach, 0664/88892003, t.pirker@hage.at

Nach Abschluss der HTL-Wolfsberg, Fachrichtung Maschinenbau mit dem Ausbildungsschwerpunkt Automatisierungstechnik, absolvierte Tobias Pirker, neben seiner beruflichen Tätigkeit bei der Firma HAGE-Sondermaschinenbau, ein berufsbegleitendes Bachelor- und Masterstudium an der FH- Campus 02 für Automatisierungstechnik.

FH CAMPUS WIEN: EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON METALL-KUNSTSTOFF-HYBRIDVERBUNDEN HINSICHTLICH IHRER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN

Ruedl, V.

Kurzfassung: *Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, im Schicht-Verfahren, mittels Klebstoff hergestellte Probekörper aus unterschiedlichen Metall-Kunststoff-Kombinationen auf ihre mechanischen Eigenschaften zu untersuchen. Hierzu werden Hybridverbundproben im Zugversuch getestet, Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung ermittelt und in Relation zum Aufbau des Verbundwerkstoffs (bspw. Anzahl der Schichten, Schichtdicke, etc.) gesetzt.*
Schlüsselwörter: *Schichtverbundwerkstoffe, Metall-Kunststoff Hybridverbunde, Zugversuch*

1. EINLEITUNG

Der Bedarf an leichten, verschleißarmen, temperatur- und korrosionsbeständigen Polymeren, Metallen sowie Keramiken nimmt in der technischen Entwicklung ständig zu. Dadurch gewinnen Hybridwerkstoffe aus Metall und Kunststoff zunehmend an Bedeutung (Krenkel, 2009). Die Kombination von teilweise gegensätzlichen Eigenschaften der einzelnen Komponenten führt zu völlig neuen Eigenschaftsprofilen und ermöglicht den Einsatz in verschiedensten Industriebereichen, wo eine Kombination aus hoher Festigkeit und Leichtigkeit gefordert ist (Amancio-Filho and Blaga, 2018).

2. AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMSTELLUNG

Innovative Produktentwicklungen erfordern häufig eine Kombination spezieller neuartiger Materialien, die entsprechend ihrer spezifischen Eigenschaften miteinander kombiniert werden. Der Fokus der Fügeverfahren für Metall-Kunststoff-Hybride hat sich in den letzten Jahren verstärkt in Richtung des Fügens mittels Klebstoff verlagert, da sich dadurch eine deutliche Gewichtsersparnis ohne mechanischen Materialeingriffe erzielen lässt. Für einen effizienteren Einsatz von Hybridverbunden in der Industrie, ist es daher notwendig, mittels Kleben hergestellte Metall-Kunststoff-Hybridverbunde hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften und Belastbarkeiten zu analysieren (D. Banea et al., 2018).

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der aus unterschiedlichen Metall-Kunststoff-Kombinationen, im Schicht-Verfahren, mittels Klebstoff hergestellten Probekörper auf ihre mechanischen Eigenschaften. Hierzu werden die gefertigten Verbundproben im Zugversuch getestet, die mechanischen Eigenschaften, im Speziellen Zugfestigkeit und Dehngrenze, aus den aufgezeichneten Spannungs-Dehnungs-Diagrammen bestimmt und in Relation zum Aufbau des Verbundwerkstoffs (bspw. Anzahl der Schichten, Schichtdicke, Volumenverhältnis Kunststoff/Metall, etc.) gesetzt.

3. MATERIALIEN UND PROBENHERSTELLUNG

Für diese Arbeit wurden die zu untersuchenden Metall-Kunststoff-Hybride manuell hergestellt. Als Basismaterialien wurden kostengünstige Materialien, wie Aluminium (Al), Kupfer (Cu), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyamid (PA12) verwendet, die auch im Alltag verfügbar sind. Das Unternehmen Henkel AG konnte als Unterstützer für diese Arbeit gewonnen werden und stellte neben den geeigneten Klebstoffen auch die Expertise für erste Probeklebungen von Metall-Kunststoff-Kombinationen zu Verfügung.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Es wurden rechteckige Kunststoff-Metall-Hybridverbundproben (100 ± 1 mm x 25 ± 1 mm x 1 ± 0,15 mm) manuell, im Post-Mould Assembly Verfahren mittels Kleben hergestellt. Zum Fügen wurde der Sofortklebstoff LOCTITE®460 gewählt, der sich durch eine geringere Zugscherfestigkeit auszeichnet, wodurch die zu ermittelnden mechanischen Eigenschaften der Verbundproben nicht zu stark beeinflusst werden. (Henkel, 2018). Anschließend wurden die gefertigten Hybridverbunde hinsichtlich auftretender Spannungen und Dehnungen im Zugversuch (in Anlehnung an DIN EN ISO 6892:2019) untersucht und Zugfestigkeiten und 0,2% Dehngrenzen ermittelt. Abbildung 1 zeigt das Spannungs-Dehnungsdiagramm einer Al-PE-Hybridprobe mit definierter 0,2% Dehngrenze.

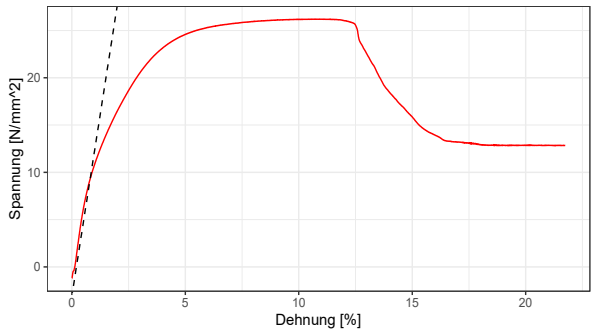


Abb. 1: Spannungs-Dehnungsdiagramm von Al-PE mit definierter 0,2% Dehngrenze

Um aussagekräftige Versuchsergebnisse zu generieren, mussten eventuelle Ungenauigkeiten aufgrund der manuellen Probenherstellung berücksichtigt werden. Daher wurde jede Probenart in fünffacher Ausführung hergestellt, getestet und die Endergebnisse als Durchschnittswert über die fünf Zugversuche gebildet, um eventuelle Ausreißer von der Analyse zu eliminieren. Abbildung 2 zeigt die ermittelten Spannungs-Dehnungskurven aller fünf Al-PE-Verbundproben im Vergleich.

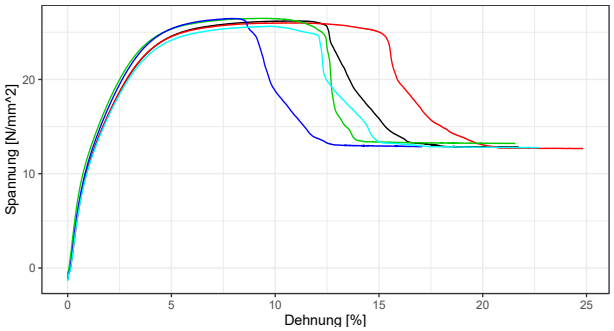


Abb. 2: Spannungs-Dehnungsdiagramme aller fünf Al-PE-Proben im Vergleich

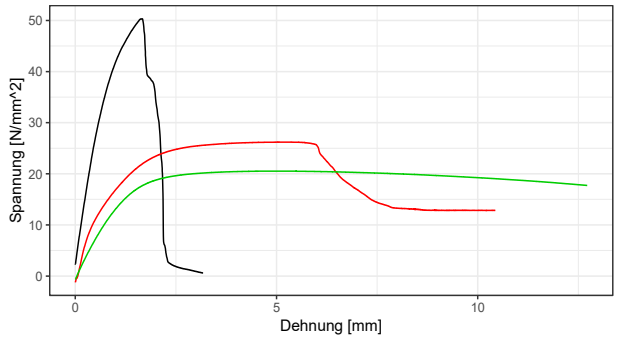
5. ERGEBNISSE

Die ermittelten Spannungs-Dehnungsdiagramme wurden im Speziellen hinsichtlich der elastischen Eigenschaften des jeweiligen Verbundwerkstoffes analysiert, indem die Linearität der Kurve bis zum Erreichen der 0,2% Dehngrenze betrachtet wurde. Andererseits wurde im plastischen Verformungsbereich das Einschnür- und Bruchverhalten der jeweiligen Werkstoffkombination interpretiert. Neben den Metall-Kunststoff-Kombinationen wurden auch die Reinwerkstoffe, sowie die Kombination der Metalle Cu und Al als Verbundproben realisiert, um Schlussfolgerungen relativ zu den Reinwerkstoffen ziehen zu können. Als Materialien für die Verbundproben wurden sowohl Kunststoffe als auch Metalle mit sehr unterschiedlichen Materialeigenschaften ausgewählt, wodurch sehr spannende Ergebnisse erzielt werden konnten.

Bei der Hybridkombination Al-PA12 beispielsweise zeigte sich, dass bereits ein geringer Anteil von ca. 6% an Aluminium im Schichtverbund zu einer deutlichen Erhöhung der Zugfestigkeit (22,98 N/mm²) im Vergleich zu PA12-rein (17,25 N/mm²) führte. Noch deutlichere Ergebnisse konnten bei der Hybridkombination Cu-PA12 erzielt werden. Hierbei wurde durch einen Kupferanteil von 33% im Hybridverbund bereits eine doppelt so hohe Dehngrenze von 22,23 N/mm² im Vergleich zu PA-rein (11,81 N/mm²) sowie die fast vierfache Zugfestigkeit (62,01 N/mm²) erreicht. Da sich der SLS-gefertigte PA12-Kunststoff besonders durch seine geringe Dichte von 0,95 ± 0,03 g/cm³ (materialise, 2021) auszeichnet, könnten hier speziell im Bereich des Leichtbaus Hybridkombinationen mit unterschiedlichsten Metallen realisiert werden.

Weitere spannende Erkenntnisse konnten bei der Hybridkombination Al-PE gewonnen werden. Abbildung 3 zeigt die Spannungs-Dehnungskurve des Hybridwerkstoffes Al-PE (rote Kurve) im Vergleich zu den Kurvenverläufen der beiden Reinverbundwerkstoffe, Al-rein (schwarze Kurve) und PE-rein (grüne Kurve).

Abb. 3: Vergleich der Spannungs-Dehnungsverläufe von Al-PE



mit Primer (rot), Al-rein (schwarz) und PE-rein (grün)

Hierbei zeigte sich, im Vergleich zum PE-rein-Verbundwerkstoff, dass bereits ein geringer Aluminiumanteil von 17% im Hybridverbund einen doch sehr deutlichen Einfluss auf den Spannungs-Dehnungsverlauf nimmt. Während sich beim PE-rein-Verbund eine durchschnittliche Zugfestigkeit von 20,11 N/mm² ergibt, konnte im Hybridverbund Al-PE eine um mehr als ein Viertel höhere Zugfestigkeit von 26,15 N/mm² erreicht werden. Eine noch bemerkenswertere Erkenntnis zeigte sich in der wesentlich höheren Dehnbarkeit von Aluminium im Hybridverbundwerkstoff. Während das Einschnür- und Bruchverhalten bei dem Al-rein-Verbundwerkstoff bereits bei einer Dehnung von unter 2,5 mm beginnt, halten die Al Komponenten im Al-PE-Hybridverbund, aufgrund der besseren Spannungsverteilung im Verbundwerkstoff, eine über doppelt so hohe Dehnung aus. Zudem ist erwähnenswert, dass auch nach so ausgeprägter Dehnung, der Bruch der Al Komponenten im Hybridverbund nicht so abrupt erfolgte wie im Al-rein-Verbundwerkstoff.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Insgesamt wurden zehn verschiedene Probenarten getestet, wobei sich zeigte, dass mittels Hybridverbunden eine Kombination von individuellen Eigenschaften der beteiligten Werkstoffe erzielbar ist und somit neuartige Eigenschaftsprofile gewonnen werden können. Das Kleben von polyolefinen Kunststoffen wie bspw. PE in Kombination mit Metallen erwies sich ohne entsprechende Oberflächenvorbehandlung jedoch als sehr herausfordernd. Daher ist die Entwicklung neuartiger, verbesserter, hochfester und zäher Klebstoffe sowie ausgereifterer alternativer Fügeverfahren gefordert, um einen sicheren, universellen Einsatz von Hybridverbundwerkstoffen aus derart ungleichen Materialkombinationen in unterschiedlichsten Industriebereichen zu ermöglichen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Amancio-Filho, S. T. and Blaga, L. A. (2018) Joining of polymer-metal hybrid structures: Principles and applications. JohnWiley & Sons, Inc. doi: 10.1002/9781119429807.

D. Banea, M., F. M. da Silva, L. and D. S. G. Campilho, R. (2018) 'Principles of Adhesive Bonding', in Joining of Polymer–Metal Hybrid Structures. JohnWiley & Sons, Inc., pp. 3–27.

Henkel (2018) LOCTITE Produktkatalog.

Krenkel, W. (2009) Verbundwerkstoffe, 17. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde. WILEY-VCH Verlag.

materialise (2021) PA 12 (SLS). Available at: https://www.materialise.com/de/manufacturing/materialien/pa-12-sls.

Paul, H., Luke, M. and Henning, F. (2014) 'Kunststoff-metall-hybridverbunde – Experimentelle untersuchungen zum verformungs- und versagensverhalten', Zeitschrift Kunststofftechnik/Journal of Plastics Technology, 2014(4), pp. 117–141.

AUTOR

Verena Ruedl

FH Campus Wien/ High Tech Manufacturing, 1100 Wien, Favoritenstrasse 226, Tel.: 01/606 68 77 DW 2350, manufacturing.master@fh-campuswien.ac.at

Verena Ruedl hat im Juli 2021 das Masterstudium *High Tech Manufacturing* an der FH Campus Wien abgeschlossen und arbeitet seit 2019 als Senior Consultant im Bereich Global Investment an Innovation Incentives (Gi³) bei Deloitte. Sie unterstützt innovative technische Unternehmen im Zusammenhang mit direkten und indirekten nationalen sowie Europäischen Fördermöglichkeiten.

FH CAMPUS WIEN: MASTERARBEIT-ANWENDUNG VON BIOMIMETIK UND RECHNERGESTÜTZTEN STRUKTUROPTIMIERUNGSVERFAHREN ZUR PRODUKTENTWICKLUNG

Autorenname: Stiefelbauer, A.

Kurzfassung: *Das größte Potential für den Einsatz von Biomimetik und Strukturoptimierung in der Produktentwicklung entsteht in Verbindung mit der additiven Fertigung (AM). In dieser Arbeit wurde die Anwendung der genannten Optimierungsverfahren auf eine Backeneinheit einer Skibindung überprüft, welche zielgerichtet für die Fertigung mit AM-Verfahren optimiert wurde. Skibindungen werden zwar üblicherweise im Spritzgussverfahren hergestellt, die darin enthaltenen traditionellen Fertigungsverfahren wie Fräsen oder Gießen zur Formherstellung, bringen jedoch mehr Design Restriktionen mit sich als aktuell verfügbare AM-Verfahren. Ausgehend vom Serienteil wurden Belastungen und Fertigungs-restriktionen ermittelt, Zielfunktionen für Materialeinsparung und Festigkeitsoptimierung definiert und die optimierte Backeneinheit schließlich hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften mit dem aktuellen Serienteil verglichen. Ein wirtschaftlicher Vergleich der Fertigungsmethoden war ebenfalls Bestandteil der Arbeit.*

Schlüsselwörter *Strukturoptimierung, Biomimetik, Additive Fertigung, Produktentwicklung, Sportequipment*

Abb. 1: Serienteil, Spritzgussverfahren. Quelle: Tyrolia

1. EINLEITUNG

Die Firma Tyrolia, welche Teil der HEAD Sports GmbH ist, entwickelt und baut seit 1927 Skibindungen am Standort Schwechat (Österreich). Der Großteil einer Skibindung besteht aus glasfaserverstärkten Polyamid (PA) Kunststoffteilen (Abb. 1). Bei einem Produktionsvolumen von 1,1 Millionen Garnituren pro Jahr stellt der Spritzguss das Mittel der Wahl dar.

Additive Fertigungsverfahren hingegen bieten zum aktuellen Zeitpunkt die ideale Lösung für Kleinserien und hochgradig individualisierte Sport-Produkte [3]. Mit der technologischen Weiterentwicklung von AM, ist zu erwarten, dass die Fertigungsgeschwindigkeiten deutlich erhöht werden. Dies wird eine Kostenreduktion bewirken und zu einer Annäherung an die konventionellen Verfahren bezüglich des Stückpreises führen. Sollte AM eine wirtschaftliche Alternative bei der geforderten Stückzahl darstellen, stellt sich für Tyrolia die Frage, welche Vor- und Nachteile diese Technologien mit sich bringen.

Der Spritzguss erfordert eine Vielzahl von Konstruktions-richtlinien, welche die möglichen Bauteilgeometrien, die hauptsächlich durch die notwendige Entformung der Bauteile entstehen, limitieren. Für AM müssen neue Einschränkungen und Design-Richtlinien beachten werden [2] - jedoch sind der Komplexität der Geometrien bei den meisten AM-Verfahren nur wenige Grenzen gesetzt. Diese Gestaltungsfreiheit bietet die Möglichkeit bionische Design-Prinzipen zu implementieren. Weiteres können eine Vielzahl von Strukturoptimierungs-methoden angewendet werden. Aktuell werden diese Techniken von vielen CAD Software Herstellern kombiniert und unter den Begriff „Generative Design“ in bestehende Systeme integriert. Wie diese Tools in Zukunft angewendet werden können und welche Möglichkeiten sich in der Produktentwicklung dadurch ergeben, war Kernaufgabe dieser Arbeit.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Um valide Ergebnisse durch rechnergestützte Optimierungsverfahren zu erhalten, ist eine genaue Erkenntnis über die auftretenden Lastfälle und Restriktionen erforderlich - diese galt es zu Beginn zu ermitteln. AM-Bauteile, welche ebenfalls aus PA hergestellt werden, weisen prozessbedingt eine niedrigere Zugfestigkeit und Bruchdehnung auf, als die Serien-Spritzgussteile. Aus diesem Grund galt es ein geeignetes AM-Verfahren und einen dazugehörigen Werkstoff, welcher am ehesten die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Serienteils erreicht, zu finden.

Ob die verbesserten mechanischen Eigenschaften durch den Einsatz von Strukturoptimierung und Biomimetik, den Nachteil der Materialeigenschaften von AM-Verfahren gegenüber des Spritzgussverfahren überwiegen, war mithilfe von FEM Simulationen herauszufinden. Geeignete Software-lösungen für diese Aufgaben galt es zu eruieren.

Um eine Aussage über den potenziellen wirtschaftlichen Vorteil von AM gegenüber konventionellen Fertigungs-methoden treffen zu können, war die Bestimmung der kritischen Produktionsstückzahl ebenfalls Teil der Aufgabe.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Der Ablauf der rechnergestützten Optimierung folgte dem Workflow von Brackett und Ashcroft [1]. Die Ermittlung der auftretenden Lastfälle wurde mit den Prüfeinrichtungen der Firma Tyrolia durchgeführt (Abb. 2). Die Wahl der Optimierungssoftware fiel aufgrund der einfachen Integration in das bestehende CAD-System auf die Creo Generative Design Extension (PTC, Boston, USA). Weitere Programme, welche für Voroptimierung herangezogen wurden, waren Inspire (Altair, Troy, USA) und Fusion360 (Autodesk, San Rafael, USA).

Abb. 2: Beispiel für die Belastungsermittlung (eig. Darstellung)

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Abgeleitet vom Serienteil besteht das Ausgangsmodell für die Optimierung grundsätzlich aus drei verschiedenen Bestandteilen: Bereiche welche eine Hindernis-Geometrie (z.B. Federsystem) darstellen, Bereiche, die nicht verändert werden dürfen (z.B.: Gleitebenen) und der potenzielle Designraum. Für die Definition der auftretenden Lastfälle wurden die maximalen Kräfte gemessen, welche während des üblichen Skilaufs auf das System der Skibindung wirken.

Die Designrestriktionen, welche hauptsächlich durch die Befestigung der Bindung am Ski und genormten Anschluss-bereichen zum Skischuh entstehen, wurden im ersten Schritt definiert. Auf Basis dieser Informationen wurde ein CAD Ersatzmodel erstellt, welches den maximalen Designraum definiert. Da sich die Backeneinheit aus mehreren Teilen zusammensetzt, wurden mehrere Designraum-Variationen erstellt bzw. iterativ aufeinander abgestimmt. Der Optimierungs-Ablauf ist beispielhaft für das Backengehäuse in Abb. 3 dargestellt.

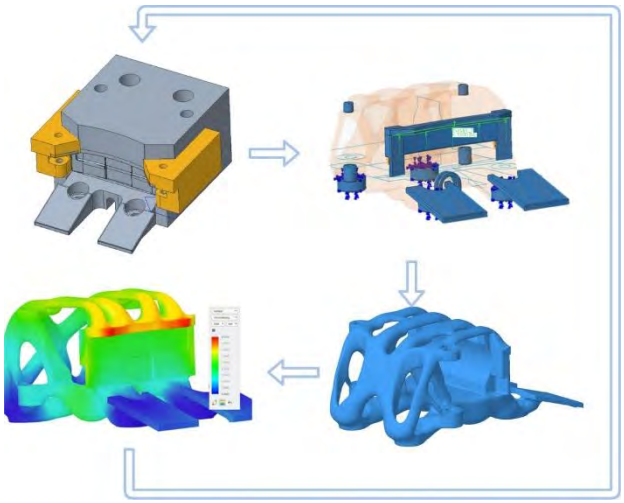


Abb. 3: Optimierung-Schleife Backengehäuse (eig. Darstellung)

5. ERGEBNISSE

Für das Backengehäuse wurden insgesamt sieben Versionen erstellt, welche jeweils eine unterschiedliche Ziel-Masse aufweisen. Für die beiden Winkelhebel wurden je drei Versionen generiert, wobei jeder Entwurf dem Serienteil gegenübergestellt wurde. Für den Entwurf des Backengehäuses konnte bei einer Erhöhung der Steifigkeit um 63 %, eine Reduktion der Masse um 42 % erreicht werden. Für die beiden Winkelhebel konnte bei einer minimalen Verringerung der Steifigkeit von 11 % bzw. 14 %, eine Reduktion der eingesetzten Masse um 45 % bzw. 43 % erzielt werden. Abb. 4 zeigt drei Entwürfe der optimierten additiv gefertigten Skibindung.

Abb. 4: Additiv gefertigte Design Prototypen (eig. Darstellung)

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Rechnergestützte Optimierungsverfahren und Biomimetik verzeichnen einen großen Erfolg in der Automobilbranche und Luftfahrt, da jede Gewichtseinsparung in einer Einsparung des Treibstoffes und damit verbundenen CO_2-Ausstoßes resultiert. Die in der Arbeit durchgeführten Optimierungen konnten eine Reduktion des eingesetzten Materials und eine Erhöhung der Steifigkeit gegenüber dem Serienteil bewirken.

Im Gegensatz zu der oben angeführten Luftfahrt handelt es sich bei Skibindungen um ein Massenprodukt, welches in einer hohen Stückzahl produziert wird. Die niedrige Fertigungs-geschwindigkeit und die hohen Kosten pro Stück machen die AM-Verfahren im konkreten Anwendungsfall zum aktuellen Zeitpunkt nicht konkurrenzfähig gegenüber dem Spritzguss-verfahren. Die Ergebnisse der Generative Design Studie haben jedoch gezeigt, dass diese Tools in absehbarer Zeit einen wichtigen Stellenwert für Designer*innen und Konstrukteur*innen haben werden.

Für die Zukunft wäre es wünschenswert, dass Software-lösungen in der Lage sind, ein parametrisiertes Modell automatisch zu genieren. In Verbindung mit der ständigen Neu und Weiterentwicklungen im AM-Bereich, speziell was Fertigungsgeschwindigkeit betrifft, könnten rechnergestützte Optimierungsverfahren und Biomimetik dann eine breitere Anwendung in der Produktentwicklung finden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[1] D. Brackett, I. Ashcroft, R. H. (2017) 'Topology optimization in additive manufacturing', *Annual Forum Proceedings - AHS International*

[2] Gralow, M. *et al.* (2020) 'Biomimetic design and laser additive manufacturing—A perfect symbiosis?', *Journal of Laser Applications*. Laser Institute of America

[3] Kajtaz, M. *et al.* (2019) 'Three-dimensional printing of sports equipment', in *Materials in Sports Equipment*. Elsevier

AUTOR

Andreas Stiefelbauer, BSc

FH Campus Wien, +43 677 61606044, andreas.stiefelbauer@stud.fh-campus-wien.ac.at

2021: Master-High Tech Manufacturing - FH Campus Wien, 2019: Bachelor- Sports Equipment Technology – FH Technikum Wien, 2011: HTL Waidhofen/Ybbs, seit 2019: HEAD Sports GmbH

FH KÄRNTEN: DEVELOPMENT OF CONTROL ALGORITHMS AND IMPLEMENTATION ON HARDWARE FOR A BALL ON WHEEL SYSTEM

Andreas WARMUTH B.Sc.

Abstract: *This thesis deals with developing control algorithms for a Ball on Wheel (BOW) laboratory model. The BOW system offers students the opportunity to apply and test nonlinear control approaches. An EC-motor applies the necessary torque to a perpendicular placed wheel to control the trajectory of a loosely placed ball on its outline. Different controllers have been developed during the thesis with the nonlinear control theory of full state feedback linearisation. The BOW system offers different operation modes. These operation modes can be achieved by applying individual reference trajectories to the linearized state space. The investigation on the BOW laboratory model shows all problems and positive factors of the mechanical construction and the applied controllers. The limits of the system are found and discussed in the thesis. Moreover, a novel sensor concept for ball angle measurement raises "unwanted" effects which are investigated and stated. These effects manipulate the results of controlling the BOW system.*

Keywords*: nonlinear control, operation modes, system constraints.*

1. INTRODUCTION

The Ball on Wheel (BOW) system is a mechanical device that represents a strong nonlinear behavior. Unfortunately, nonlinear systems can not always be controlled with standard linear control algorithms successfully. Therefore, nonlinear control algorithms must be developed to control the BOW system.

Currently, the Carinthia University of Applied Sciences does not offer challenging representative nonlinear systems different from classical ones like an inverted pendulum for educational purposes. Therefore, the BOW system offers students an excellent opportunity to deal with nonlinear control algorithms within a laboratory session.

2. PROBLEM DESCRIPTION

The BOW system is mainly 3D printed and built with industrial standard components to guarantee an easy replication. The physical problem of a BOW system can be described with a cylindrical wheel that balances a sphere (ball) on it (Fig.1)

The acceleration and deceleration of the wheel generate forces in the loosely coupled ball, allowing stabilization of the ball in the upper, unstable equilibrium. Moreover, different operation modes like deadlock mode (deadlock in all system states), constant speed mode (constant wheel speed), and show mode (ball angle reference) have to be prepared for the application in an educational laboratory.

3. MATERIALS AND METHODS

The movement of the loosely coupled ball on top of the wheel depends on its acceleration. Thus, with a constant spinning wheel, the ball can not get into the unstable equilibrium point. A change in speed is necessary to introduce force to the ball, which works against the gravitational force. The wheel is driven by an EC-motor supplied whit an input current (Fig.1).

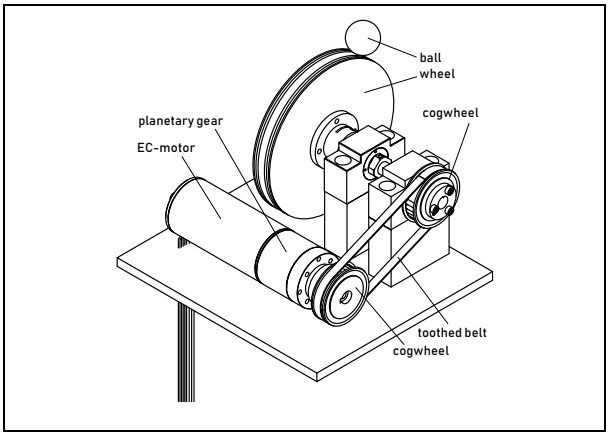


Fig. 1: 3D sketch of the BOW system for educational laboratory

The motor current is proportional to the motor torque which drives to the wheel. The motor torque is responsible for the change wheel speed. The equations of motion are found with the help of the LaGrange method and can be written as

$$\ddot{\phi}_2 = \frac{Z \cdot \sin(\phi_2) - K_{fw}\rho \cdot \dot{\phi}_w + K_g\rho \cdot i}{r_{ges} \cdot N} \quad (1)$$

$$\ddot{\phi}_w = \frac{\gamma \cdot \sin(\phi_2) - K_{fw}\beta \cdot \dot{\phi}_w + K_g\beta \cdot i}{N} \quad (2)$$

with *i* as the system input current; ϕ_2 as angle between the wheel center and the center of the ball; ϕ_w as the rotational angle of the wheel (Mörtlitsch, 2021). With the help of the mathematical model, simulations regarding the real-world system can be done quickly within the MATLAB/Simulink environment.

3.1 Nonlinear control method

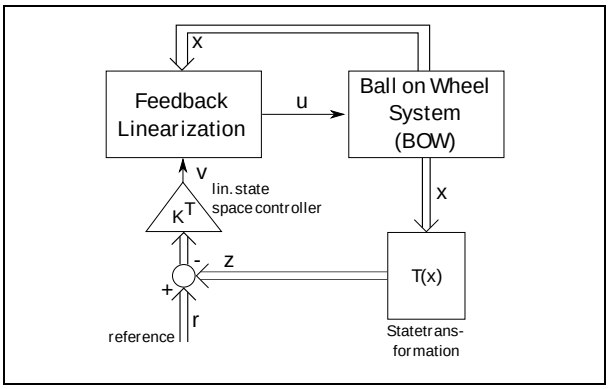


Fig. 2: Block Diagram for full state feedback linearization with a linear state space controller

The BOW system can be appropriately controlled with the method of feedback linearization (Ho M. & Lin H., 2006). Within this control theory method comes the lie derivation which is needed to develop a nonlinear controller (Slotine J.-J. & Li W., 1991).

The full state feedback linearization is able to linearize the whole system with the help of a transformation matrix. This linearization method enables the referencing of trajectories to all system states individually. That is the reason why other operation modes as deadlock are possible (Fig.2). That is a significant advantage compared to the linearization around a working point. However, this would lead to a limitation of controllability and stability of a system.

4. PRACTICAL REALIZATION

Many other BOW systems developed for research purposes are too massive in construction (Van Gils R.W. 2007) or built without 3D print and industrial standard components (Ho M. & Lin H., 2006). However, this real-world BOW system is built as a desk application in an educational laboratory (Fig.3). Therefore, the build-up is developed with a small footprint and a novel ball sensing system

Fig. 3: Real-world BOW system for educational laboratory

The control algorithms are developed, tested and simulated within the MATLAB/Simulink environment. The overall control law is to intense for representation in this paper and is descriped in details in the thesis. In addition, all controllers are applied to the real-world system with the rapid control prototyping hardware Speedgoat, which allows a real-time operation with the BOW system (Warmuth A., 2021).

5. EXPERIMENTAL RESULTS AND OUTLOOK

As a representative of all measured data is chosen the deadlock mode performance. This mode stabilizes the ball in the upper equilibrium, which means deadlock in all system states. The ball behavior is shown with an initial condition of 72.765° displacement from the equilibrium point in (Fig.4).

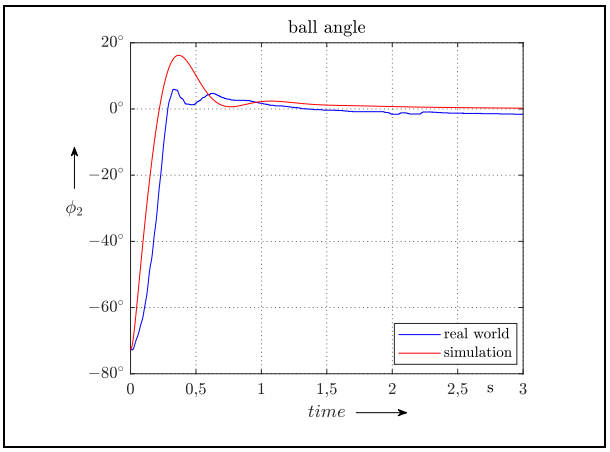


Fig. 4: Start-up from 72.765° displacement from equilibrium

The real-world system can stabilize the ball even faster than the simulation caused by rolling friction between ball and wheel. The novel ball angle measurement moreover increases the rolling friction (Mörtlitsch A. 2021). The rolling friction is necessary for the positioning process to guarantee the rolling condition of the ball.

This BOW system will be integrated into the educational laboratory and will be an excellent addition to the nonlinear control course of the FH Kärnten.

6. REFERENCES

Ho M. & Lin H., 2006 Balance Control of Ball and Wheel Systems via Feedback Linearization, *Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 3926-3931, doi: 10.1109/CDC.2006.376708.

Slotine J.-J. & Li W., 1991 *Applied Nonlinear Control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersy, pp. 229-236

Mörtlitsch A., 2021 *Design of hardware components for a ball on wheel system and derivation of the associated mathematical description*, M.Sc. thesis, Charintian University of Applied Science, Austria, Charintia, pp. 15-19 & 35-42

Van Gils R.W., 2007 *Control of the Ball on Wheel System*, trainee ship report, Eindhoven, pp. 3-7

Warmuth A., 2021 *Development of control algorithms and implementation on hardware for a ball on wheel system*, M.Sc. thesis, Charintian University of Applied Science, Austria, Charintia, pp. 51-53

ANDREAS WARMUTH

Andreas Warmuth B.Sc.

Fachhochschule Kärnten, Europastraße 4, 9524 Villach, 0664/9746561, a.warmuth@fh-kaernten.at

Andreas Warmuth studied at the TU Graz from 2015 until he received the B.Sc. in electrical engineering from the Graz University of Technology in 2019. From 2019 to 2021 he is a student of systems design focusing on control systems. At the beginning of October 2021, he will receive his M.Sc. in engineering from the FH Kärnten. Since September 2021 he is part of the FH Kärnten staff as a junior research engineer.

FH OOE: EINSATZ EINES MULTI-ANTENNEN-BODENRADARS ZUR OBJEKTERKENNUNG IN BAHNTRASSEN

Größbacher, D.

Kurzfassung: *Ground Penetrating Radar (GPR) bzw. Bodenradar-Systeme werden bei Eisenbahnstrecken zur zerstörungsfreien Zustandserfassung des Schotterbetts und des Unterbaus eingesetzt. Daraus abgeleitete Wartungsmaßnahmen können einen mechanischen Eingriff in das Schotterbett vorsehen. Kenntnisse über potenzielle Fremdkörper im Arbeitsbereich erhöhen dabei die Effizienz und Sicherheit dieser Wartungsarbeiten. In dieser Arbeit wird daher der Einsatz eines Multi-Antennen-GPR-System für Objektdetektion in Bahntrassen untersucht. Dazu wird eine eigene Datenverarbeitungskette etabliert, um aus den Rohdaten eines GPR-Systems die relevanten Signalanteile zu extrahieren. Für eine ansprechende Visualisierung werden die aufbereiteten Signale mit Algorithmen der seismischen Datenverarbeitung für eine 3D-Darstellung und eine automatisierte Segmentierung weiterverarbeitet. Die Erprobung der implementierten Prozesse erfolgt sowohl anhand von Simulationsdaten als auch mit Daten aus Versuchen, bei denen Fremdkörper in einer Schotterbettung vergraben und mit zwei Multi-Antennen-GPRs gemessen wurden. Es kann gezeigt werden, dass die vergrabenen Objekte sowohl detektiert als auch segmentiert bzw. differenziert dargestellt werden können.*

Schlüsselwörter: *Ground Penetrating Radar, Multi-Antennen-Bodenradar, Radar-Array, Objekterkennung*

1. EINLEITUNG

Schotterbettungen von Bahntrassen haben eine tragende Rolle, da sie sowohl Kräfte als auch Niederschlag zuverlässig ableiten müssen (vgl. Hansmann und Nemetz 2019). Für die Erfassung des Verschmutzungsgrades und anderer Zustandsparameter des Unterbaus von Bahnstrecken werden Bodenradar- bzw. GPR-Systeme eingesetzt, die mit elektromagnetischen Wellen (EMW) zerstörungsfrei den Untergrund untersuchen können (vgl. Li et al. 2015). Basierend auf der meist visuellen Bewertung der Messdaten werden Wartungsmaßnahmen geplant, die beispielsweise eine Bettungsreinigung oder Schotterverdichtung vorsehen können. Fremdkörper wie Metallteile, Betonbrocken oder gar Kriegsrelikte können mit im Bahnbereich üblichen GPR-Systemen nicht zuverlässig erfasst werden. Für einen reibungslosen Ablauf von Wartungsarbeiten wäre die Information über mögliche unerwünschte Objekte in der Schotterbettung jedoch vorteilhaft. Abhilfe versprechen Multi-Antennen-GPR-Systeme, wie sie beispielsweise in der Archäologie oder im Straßenbau zum Einsatz kommen (vgl. Francese, Finzi, und Morelli 2009). Die enge Anordnung mehrerer Sende- und Empfangsantennen ermöglicht eine tomographische Erfassung des Untergrunds und somit eine feinmaschige Datenstruktur.

Um die Verwendung der Multi-Antennen-Technologie für die Objektdetektion in Bahnstrecken zu untersuchen, wurden die folgenden Themen erarbeitet. Die Signalverarbeitung von GPR-Rohdaten wurde anhand von Literatur und Software-Produkten erarbeitet und selbst in MATLAB® implementiert. Mithilfe von Simulationssoftware wurden Bahnstrecken-Abschnitte modelliert, um die Ausbreitung von EMW in dieser Umgebung zu simulieren und die Signalverarbeitung anhand virtueller Messdaten zu testen. Für die Praxis-Umsetzung wurden an einem Testgleis Objekte vergraben, um mit verschiedenen Multi-Antennen-GPR-Systemen den Streckenabschnitt zu vermessen. Anschließend wurden Vergleiche der Messparameter dargestellt und die vermessene Strecke in 3D-Darstellung visualisiert, wobei die vergrabenen Objekte automatisiert hervorgehoben wurden.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Da Multi-Antennen-GPR-Systeme oder Radar-Arrays bei Bahnstrecken bislang nicht verbreitet sind, müssen verschiedene Aspekte der GPR-Datenverarbeitung separat erarbeitet und zu einer Processing-Pipeline zusammengeführt werden. Die Verarbeitungsschritte basieren dabei auf einen oder mehreren Parametern, weswegen eine optimale Konfiguration gefunden werden muss, die redundante Signalanteile entfernt und relevante Strukturen hervorhebt. Um geometrische Informationen aus GPR-Messdaten zu extrahieren, müssen die Signallaufzeit auf eine räumliche Tiefe umgewandelt und typische Reflexionsmuster auf die ursprüngliche Objektform rückgeführt werden. Schließlich sind aus den generierten Volumendaten Fremdkörper zu erkennen und zu markieren bzw. segmentieren, wobei Elemente der Bahninfrastruktur (wie z.B. Schwellen) nicht dazugezählt werden dürfen. Die gesamte Verarbeitungskette muss für verschiedene GPR-Systeme und Messparameter, wie z.B. die Antennenhöhe, adaptierbar sein.

3. BODENRADAR-GRUNDLAGEN UND SIGNALVERARBEITUNG

Das Prinzip von Bodenradar-Messungen basiert auf der Emission von EMW und dem Empfang von Reflexionen. Der Übergang einer abgestrahlten EMW von einem Material auf ein anderes (z.B. Luft auf Boden oder Schotter auf Erde) kann eine Reflexion/Transmission/Absorption zu unterschiedlichen Anteilen verursachen, sofern sich bestimmte Material-Eigenschaften ändern. Dazu zählen dielektrische Eigenschaften (elektrische Permittivität ε und magnetische Permeabilität μ) sowie die elektr. Leitfähigkeit. Folglich sind im Frequenz-Bereich von GPR-Systemen (etwa 100 MHz bis 2 GHz) vor allem Feuchtigkeit/Wasser bzw. Metalle von Bedeutung. Zudem variiert die Ausbreitungsgeschwindigkeit von EMW auf diesen Parametern, wodurch auch die minimal detektierbare Größe von Objekten bestimmt wird, die zwischen $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{5}$ der Wellenlänge λ des emittierten Signals liegt (vgl. Utsi 2017).

Für die nähere Erläuterung der Signalverarbeitung zeigt Abb. 1 den idealisierten Messvorgang für die Erfassung eines *A-Scans*. Dieser Vorgang wird in kontinuierlichen Abständen auf dem zu messenden Streckenabschnitt wiederholt. Wie zu erkennen ist, wird der Anregungsimpuls auf direktem Weg von der Empfangsantenne aufgezeichnet, was die größte Amplitude

im aufgezeichneten Signal verursacht. Schichtübergänge führen zu weiteren Amplituden im Signal.

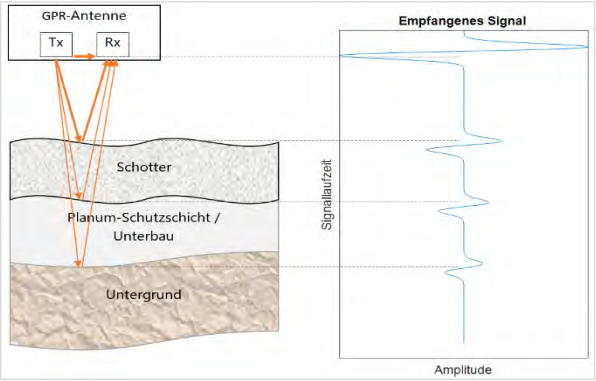


Abb. 1: GPR-Prinzip (Größbacher 2021)

Durch die Aneinanderreihung der aufgezeichneten A-Scans und der Umwandlung der Amplituden- in Farb-Werte entsteht ein B-Scan, wie er in Abb. 2 links gezeigt wird.

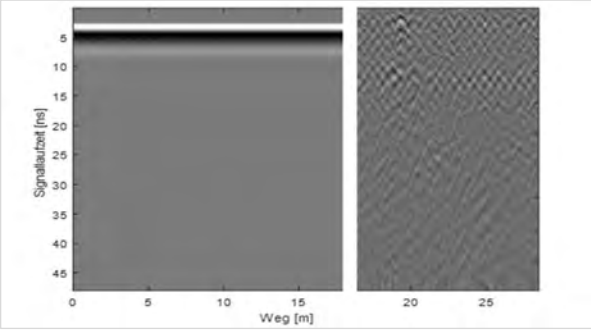


Abb. 2: B-Scan bzw. Radargramm (Größbacher 2021)

Um den gleichbleibenden bzw. informationslosen Anregungsimpuls aus den Radardaten zu entfernen, wird ein Hochpass-Filter in Fahrtrichtung angewendet. Eine Laufzeit-abhängige Verstärkung sorgt für eine erhöhte Sichtbarkeit tiefer liegender Schichten, wie in Abb. 2 rechts zu sehen ist. Diese und weitere Filter-Schritte dienen zur allgemeinen Aufbereitung von Radargrammen und wurden an Simulationsdaten getestet sowie für die folgenden praktischen Messungen verwendet.

4. PRAKTISCHE MESSUNGEN

Für praktische Versuche in wurden Objekte wie Metall- bzw. mit Wasser gefüllte Plastikkanister, sowie Holzstücke und größere Steine im Schotterbett eines Abstellgleises vergraben. Anschließend wurden Bodenradar-Messungen mit den Systemen *StreamC* und *AM200* des italienischen Herstellers *IDS GeoRadar s.r.l.* durchgeführt. Die Systeme unterscheiden sich bei der Zentral-Frequenz des Anregungs-Impulses, sowie der Antennen-Dichte und Polarisationsrichtung. Bei mehreren Messungen wurden die Antennen in verschiedenen Höhen montiert, zudem wurden unterschiedliche Scan-Intervalle in Fahrtrichtung verwendet. Durch die Echtzeit-Anzeige der Messdaten konnten bereits während den Messungen verstärkte Signaturen an den Grabungsstellen erkannt werden.

5. ERGEBNISSE

Die erhobenen Messdaten wurden mit den implementierten Filter-Funktionen und Migrations-Algorithmen verarbeitet und so für eine 3D-Darstellung vorbereitet, wie sie in Abb. 3 zu sehen sind. Zur Unterdrückung der Signalanteile der Schwellen wurde eine Filter-Funktion entwickelt, die mittels Überlagerung durch eine Sinus-Kurve mit adaptiver Amplitude und Phasenlage die regelmäßig wiederkehrenden Schwellen-Strukturen unterdrückt. Nach dieser Bereinigung konnten die durch die Fremdkörper verursachten Anomalien problemlos erkannt und mit Schwellwert- und Volums-Operationen segmentiert werden.

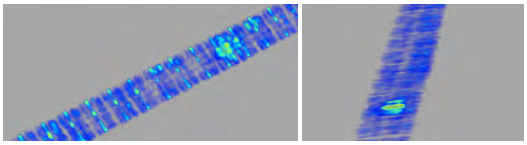


Abb. 3: 3D-Darstellung eines Streckenabschnitts (Größbacher 2021)

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Anhand der erhobenen Messdaten konnten die implementierten Funktionen überprüft werden, wobei eine gute Erkennbarkeit der im Versuch vergrabenen Objekte gezeigt wurde. Der Versuchsumfang war u.a. aufgrund fehlender maschineller Grabungsmöglichkeiten zu gering, um die Grenzen der Radar-Arrays zu erheben, wie etwa die maximale Tiefe bzw. minimale Objekt-Größe. Im Unternehmen Plasser&Theurer, das sich der Entwicklung und Produktion von Bahnbaumaschinen widmet, werden deshalb weitergehende Versuche durchgeführt, um die Leistungs- und Einsatzfähigkeit von Multi-Kanal-GPR-Systemen zu untersuchen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Francese, R.; Finzi, E. & Morelli, G. 3-D high-resolution multi-channel radar investigation of a Roman village in Northern Italy, *Journal of Applied Geophysics,* 67 (2009) 1, pp. 44–51, 0926-9851

Hansmann, F. & Nemetz, W., 2019. *Der Gleislage auf der Spur*. PMC Media House GmbH, 978-3-96245-164-6, Leverkusen

Li, D.; Hyslip, J.; Sussmann, T. & Chrismer, S., 2015. Railway Geotechnics. CRC Press, 9780367866594, Boca Raton, FL/USA

Utsi, E., 2017. *Ground Penetrating Radar. Theory and Practice*. Elsevier Science, 9780081022160, San Diego/USA

AUTOR

David Größbacher

Plasser & Theurer, Export von Bahnbaumaschinen, Gesellschaft m.b.H., Pummererstraße 5, 4021 Linz, +43 732 7666-0, david.groessbacher@plassertheurer.com
Seit 2020: Angestellter Emerging Technologies, Plasser&Theurer GmbH
2018-2021: FH Wels, Masterstudiengang Automatisierungstechnik
2015-2019: Lisec Austria GmbH, Projektleiter

FH VORARLBERG: ANALYSE VON VERFAHREN FÜR ROBOTERUNTERSTÜTZTE FÜGEPROZESSE

Malin G.

Kurzfassung: *Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Analyse möglicher Unterstützungsverfahren, um mithilfe eines Roboters einen Fügeprozess kombiniert mit einer Fügeachse durchführen zu können. Sie entstand in Zusammenarbeit mit der Firma thyssenkrupp Presta AG, welche als etablierter Hersteller von Lenksystemen eine Flexibilisierung der Produktion anstrebt. Durch das Führen der Bauteile durch den Roboter während des Fügevorgangs entsteht eine Überbestimmung zwischen Fügeachse und Roboter. Die auftretenden Kräfte und Momente, die dadurch auf den Roboter wirken, sind zu untersuchen. Mithilfe der Analysen soll ermittelt werden, ob der Roboter während der Fügeprozesse innerhalb seiner Leistungsgrenzen betrieben wird und, ob eine ausreichend genaue Kompensation der Kräfte möglich ist. Ein dazu erstellter Versuchsaufbau soll diese Analysen ermöglichen. Nach dem Erarbeiten von Grundlagen der Roboterregelung wird speziell auf die, bei diesem Versuchsaufbau zur Verfügung stehenden Unterstützungsverfahren des Roboters eingegangen. Die Eigenschaften und die Anwendung des jeweiligen Verfahrens werden beleuchtet und dargestellt. Mit Fügeversuche soll das Verhalten des Roboters während der Fügeprozesse zu analysieret werden. Die Auswertung der jeweils durchgeführten Messsystemanalyse und der Fügeversuche stellt die Verwendbarkeit und die erreichbaren Toleranzen sowie die Stärken und Schwächen der Unterstützungsverfahren dar.*

Schlüsselwörter: *Robotik, ABB, roboterunterstützt, Fügen.*

1. EINLEITUNG

In dieser Arbeit wird die Integration eines Roboters in einen Fügeprozess mit einer elektro-mechanischen Fügeachse untersucht. Die zu fügenden Bauteile werden dabei durch den Roboter gehalten und geführt. Die Bewegung des Roboters soll sich dabei der Fügeachse durch eine geeignete Nachführung anpassen. Diese Bewegung des Roboters stellt speziell während der Fügeoperation, wenn die Fügekraft durch die Achse eingeleitet wird, eine regelungstechnische Herausforderung dar, da sich eine klassische Bahnsteuerung des Roboters nicht eignet (Siciliano 2008, S. 161).

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Es gilt dabei zu untersuchen, ob sich diese Nachführung grundsätzlich realisieren lässt. Es muss geprüft werden, ob die Genauigkeit der Nachführung ausreicht, um einen stabilen Fügeprozess nachzuweisen und ob die über den Roboter abgeleiteten Kräfte gering genug sind, damit dieser innerhalb seiner Leistungsgrenzen betrieben werden kann.
Der Betrachtungsrahmen wird dabei auf die Interaktion zwischen Roboter und Fügeachse gelegt und darauf, welche Technologien zur Nachführung geeignet sind.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Um die Kräfte während der Nachführung des Roboters analysieren zu können, werden mehrere Kraftmesssensoren auf dem Roboter und in der Fügeachse angebracht. Dieses Konzept wurde von einer vorangegangen Bachelorarbeit übernommen (Leitner 2020).
Mithilfe des Versuchsaufbaus wird das Verhalten des Roboters während des Fügeprozesses analysiert. Die Hauptkomponenten des in Abb. 1 dargestellten Versuchsaufbaus:

- ABB Roboter IRB 2600-20/1.65; F_{max} = 196,2 N
- ABB 6-DOF1 Kraftsensor 660 am Roboterflansch
- Promess elektro-mechanische Fügeachse bis 60kN
- Kistler Quarz Kraftsensoren 9321BU und 9331B
- Heidenhain Langenmesslineal LC485 ML 320mm

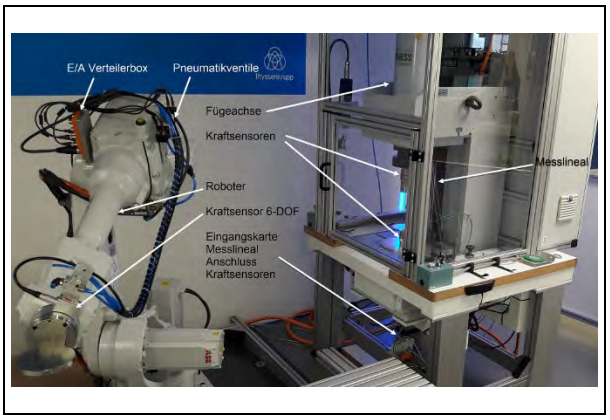


Abb. 1: Versuchsaufbau

Für die Umsetzung werden die Lageregelung, Kraftregelung und hybride Kraft-/Lageregelung beleuchtet (Weber 2019). Die in dieser Arbeit verwendeten Verfahren basieren auf hybrider Kraft-/Lageregelung und Lageregelung mit externen Lageinformationen.
Anwendbare Hard- und Software-Pakete des ABB-Roboters:
Softmove: hybride Kraft/-Lageregelung
Force Control: hybride Kraft/-Lageregelung
Externally Guided Motion: Lageregelung
Sensor Synchronization: Lageregelung

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Um die auftretenden Kräfte und das Verhalten des Roboters während der Nachführung analysieren zu können werden erst Teile einer MSA (Messsystemanalyse), die Linearitätsprüfungen der Kraftsensoren durchgeführt. Bei einer MSA wird überprüft, ob die gemessenen Werte die Realität, den wahren Wert, in ausreichend sicherem Maße wiedergeben. In weiterer Folge werden drei Fügeszenarien entwickelt:

- Federpaket: Zwei geführte Stahlplatten mit einer Feder die eine ansteigende Fügekraft von 500 bis 1400 N simuliert
- Lager fügen: Kugellager in einen Gehäusedeckel fügen
- Getriebegehäuse fügen: Getriebegehäuse mit Welle durch Lager schieben und Deckel auf Getriebegehäuse fügen

Bei den Versuchen werden die Messdaten der Kraftsensoren den Messdaten des Längenmesslineals zugeordnet und zusammen mit den Positionsdaten des Roboter auf der SPS für

die weitere Bearbeitung in einer CSV-Datei abgespeichert. Die Auswertung erfolgt mittels Matlab-Programmen, welche die Daten einlesen und die gemessenen Fügekräfte zusammen mit den Messwerten des Längenmesslineals darstellen.

5. ERGEBNISSE

Abb. 2 zeigt die Werteverteilung der fünf Kraftstufen bei der Linearitätsprüfung. Der Bias stellt hier die Differenz zwischen der Z-Kraft des Roboter-Kraftsensors und des oberen Kistler-Kraftsensors in der Fügeachse dar. Die Berechnung der Linearitätsprüfung ergibt, dass der Roboter-Kraftsensor bei einer Toleranz von +/- 8 N einen Bias von 4.84 % aufweist und nach den Anforderungen der thyssenkrupp Presta als fähig einzustufen ist. Diese Toleranz kann bei der Prüfung zukünftiger Anwendungen von Force Control als Referenzwert herangezogen werden.

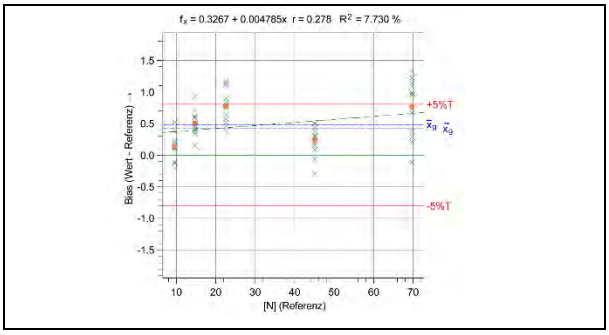


Abb. 2: Linearitätsprüfung Roboter- und Kistler-Kraftsensor

Im Verlauf der Arbeit wurden zu allen Fügeszenarien Versuche mit den Paketen Softmove und Force Control durchgeführt.
Abb. 3 zeigt während der Anwendung von Force Control einerseits die Differenzkraft des oberen und des unteren Kistler-Kraftsensors in der Fügeachse, andererseits die Kräfte, welche vom Roboter-Kraftsensor gemessen werden.
Die aufgenommene Kraft des Roboters in Z-Richtung folgt der Differenzkraft der Kistler-Kraftsensoren, bis auf ein Offset von 1.5 N genau, mit Ausnahme der Kraftspitzen der Kontaktpunkte.

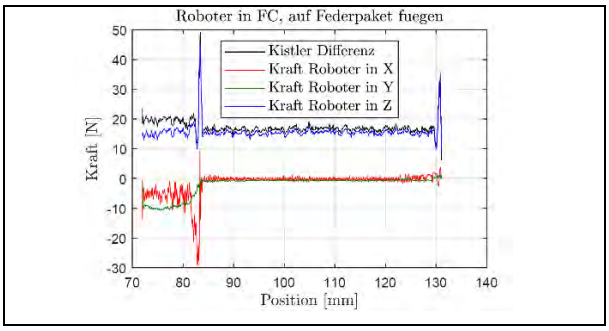


Abb. 3: Fügeszenario Federpaket mit Roboter in Force Control

Weiters bleibt die Z-Kraft des Roboter-Kraftsensors vor und nach dem Kontakt mit dem Federpaket im Bereich von 13 bis 16 N konstant. Dies deckt sich mit einer berechneten Z-Kraft des Roboters von 14 N bei der eingestellten Fügegeschwindigkeit von 10 mm/s. Es besteht eine Spreizung der Kräfte während des Einfederns zwischen 83 und 72 mm. Diese ist bei den zwei anderen Fügeszenarien noch deutlicher ausgeprägt.

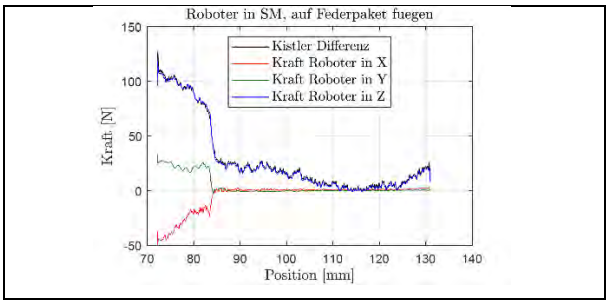


Abb. 4: Fügeszenario Federpaket mit Roboter in Softmove

Abb. 4 zeigt, dass die Differenzkraft der Kistler-Kraftsensoren und die Z-Kraft des Roboter-Kraftsensors bei der Anwendung von Softmove bis auf ein Offset von 1.5 N zueinander stimmen. Jedoch schwankt die über den Roboter abgeleitete Z-Kraft im Bereich von 0 bis 21.5 N und steigt während dem Einfedern des Federpakets auf 120 N an.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Analysen der Unterstützungsverfahren haben ergeben, dass roboterunterstützte Fügeprozesse bei der Anwendung von Force Control möglich sind. Der Roboter kann dabei in den Leistungsgrenzen betrieben werden und eine Kompensation der abgeleiteten Kräfte über den Roboter ist durchführbar. Dabei kann eine Toleranz von +/- 8 N als Grenze für ein fähiges Messsystem angenommen werden. Für Softmove trifft dies nicht zu, hier ist eine Kompensation der Fügekräfte nicht möglich, da diese während der Fügevorgänge nicht konstant ist. Die Spreizung der Kräfte muss mit weiteren Versuchen näher untersucht werden. Die Untersuchungen mit den Paketen Externally Guided Motion und Sensor Synchronization wurden nicht durchgeführt und sind als ein zentraler Punkt des Ausblicks zu sehen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Leitner, F., 2020. Robotergestützer Fügeprozess. Bachelorarbeit. Dornbirn: FH Vorarlberg

Siciliano, B., 2008. (Hrsg.) Springer handbook of robotics: with 84 tables. Berlin: Springer, 1611 S., ISBN: 978 3 540 23957 4

Weber, W., 2019. Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung. 4., aktualisierte Auflage. München: Hanser, 237 S. , ISBN: 978 3 446 45952 6

AUTOR

Georg Malin

thyssenkrupp Presta AG – FH Vorarlberg, Schererweg 7, 6811 Göfis, 0699 19527200, georg.malin@gmx.at

4 Jahre Volksschule in Göfis, 4 Jahre Realgymnasium in Feldkirch, 5 Jahre HTL-Bregenz Automatisierungstechnik, 6 Monate Bundesheer, 5,5 Jahre Konstruktion/Projektleitung bei thyssenkrupp Presta, 3 Jahre Bachelor Mechatronik-Maschinenbau FH Vorarlberg, 2 Jahre Master Mechatronics FH Vorarlberg

FH WIENER NEUSTADT: OPTIMIERUNG VON KACHELÖFEN MITTELS NUMERISCHER STRÖMUNGSSIMULATION

Riebenbauer S.

Kurzfassung: *Bei der Entwicklung von häuslichen Feuerstätten spielt meist Erfahrung auf diesem Gebiet eine tragende Rolle. Einige Forscher, wie z.B. Juschka in seiner Dissertation (Juschka 2019), haben jedoch aufgezeigt, dass die Entwicklungszeit von Heizkaminen unter Zuhilfenahme von numerischer Strömungssimulation deutlich verringert werden kann. Dies soll mithilfe dieser Arbeit auch für Kachelöfen gezeigt werden. Im ersten Teil der Arbeit wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches auf jenem von Mantler et al. (Mantler et al. 2019) aufbaut. Damit ist es möglich, die zeitabhängigen Aufheiz- und Abkühlvorgänge von Kachelöfen abzubilden. Mit diesem Simulationsmodell ist es in weiterer Folge möglich, Gebäudesimulationen durchzuführen und so z.B. die optimale Position des Kachelofens zu bestimmen. Im zweiten Teil wurde eine Möglichkeit gefunden, die Verbrennung der Biomasse im Kachelofen zu modellieren und dabei die Hauptbestandteile des Abgases, sowie den wesentlichen Schadstoffindikator Kohlenstoffmonoxid (CO) unter guter Übereinstimmung mit den Messdaten vorherzusagen. Abschließend konnte mit der Optimierung der bestehenden Luftschlitze des untersuchten Kachelofens, welche für die Verbrennungsluftzuführung in den Brennraum zuständig sind, die Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas wesentlich reduziert werden. Daraus resultiert, dass die numerische Strömungssimulation auch bei der Entwicklung und Optimierung von Kachelöfen hervorragend eingesetzt werden kann.*

Schlüsselwörter: *Kachelofen, Verbrennungssimulation, Optimierung.*

1. EINLEITUNG

Der voranschreitende Klimawandel ist ein allgegenwärtiges Thema, welches uns als Gesellschaft vor eine große Herausforderung stellt. Wie auch in vielen anderen Bereichen sollte bei der Wohnraumheizung vermehrt umgedacht und der Einsatz von fossilen Brennstoffen vermieden werden. Eine Möglichkeit umweltfreundlich zu Heizen und gleichzeitig ein angenehmes Raumklima zu schaffen, ergibt sich aus der Verwendung eines Kachelofens. Das allgemeine Forschungsinteresse ist jedoch leider sehr gering in dieser Hinsicht. Ziel dieser Arbeit sollen also nicht nur die Entwicklung eines Simulationsmodells zur Vorhersage der Oberflächentemperaturen und die Optimierung der Kachelofengeometrie zur Emissionsverringerung sein, sondern möglicherweise auch das Interesse an der Untersuchung verschiedenster Fragestellungen in Bezug auf Kachelöfen zu wecken.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das System Kachelofen mag auf den ersten Blick sehr simpel erscheinen. Bei detaillierterer Auseinandersetzung mit dem Thema wird jedoch schnell klar, dass dies nicht der Fall ist. Grund dafür ist das komplexe Zusammenspiel zwischen den weit auseinanderliegenden Abbränden und der Trägheit der keramischen Speichermasse des Kachelofens. Ein Hafnermeister kann dank langjähriger Erfahrung oder mit Hilfe einfacher Berechnungstools Kachelöfen grob auslegen. Dabei können jedoch Fragen offen bleiben. Wie z.B. die Oberflächentemperaturen am Endprodukt ausfallen werden. Ein weiterer nicht unwesentlicher Aspekt betrifft die Einhaltung von immer strenger werdenden Emissionsgrenzwerten. Organisationen wie der Österreichische Kachelofenverband erarbeiten laufend in Zusammenarbeit mit Hafnern neue Richtlinien für das Setzen von umweltfreundlicheren Brennräumen. Das Problem dabei ist, dass sehr viel Zeit am Prüfstand dafür notwendig ist.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Für die Durchführung der CFD-Simulationen wurden die Softwarepakete SIMCENTER 3D und SIMCENTER STAR CCM+ von SIEMENS Digital Industry Software verwendet. Ersteres wurde bei der Ermittlung der Oberflächentemperaturen verwendet und mit STAR CCM+ erfolgte die Verbrennungssimulation. Grund dafür ist, dass es in SIMCENTER 3D keine Möglichkeit gibt Reaktionen im Strömungsgebiet zu berücksichtigen. Wie grundsätzlich bei fast jeder CFD-Simulation werden auch bei diesen beiden Softwarepaketen die Navier-Stokes-Gleichungen

$$\frac{\partial}{\partial t}\vec{U} + \frac{\partial}{\partial x}\vec{E} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{F} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{G} = \vec{Q}$$

(hier angeschrieben in Vektorform) gelöst. Bei näherem Interesse wird an dieser Stelle auf (Lecheler 2009) verwiesen. Ein weiteres essenzielles Gebiet für das Verständnis der Arbeit ist jenes vom Wärmetransport. Dieses kann in die drei charakteristischen Arten unterteilt werden: Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Für Details wird auf (Incropera et al. 2011) verwiesen.

Die Arbeit baut grundsätzlich auf den Ergebnissen aus dem Forschungsbericht von (Mantler et al. 2019) auf. Darin wurden schon Modelle präsentiert, welche die Messwerte vom Prüfstand gut wiedergeben konnten. Es gab jedoch zwei Bereiche, die nach einer Verbesserung verlangten, welche im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurden. Zum einen wurde die Nusselt-Zahl im Luftspalt des Kachelofens, welche später für die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten verwendet wird, mit einer empirisch ermittelten Gleichung aus (Incropera et al. 2011) ermittelt. Dabei zeigt sich, dass die Grenzwerte für die einzelnen Komponenten nicht exakt eingehalten werden. Dies wurde im Forschungsbericht als ausreichend angenommen, soll aber hier geändert werden. Deswegen wurde ein 2D-Modell des Luftspaltes erstellt, um den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten mit erhöhter Genauigkeit bestimmen zu können. Und zum anderen kann bei Betrachtung der Oberflächentemperatur des Glases im Forschungsbericht festgestellt werden, dass diese über einen zu langen Zeitraum eine erhöhte Temperatur im Vergleich zu den Messwerten aufweist. Hier wurde die vorher verwendete SIMCENTER 3D Randbedingung durch eine eigene ersetzt.

Als Vorbereitung auf die Verbrennungssimulation wurden umfassende Literaturrecherchen durchgeführt, um den Stand der Forschung auf diesem Gebiet zu ermitteln. Dabei wurde unter anderen die Arbeit von Juschka (Juschka 2019) gefunden, welche als guter Anhaltspunkt diente. Die erste Herausforderung bei der Modellierung der Verbrennung biogener Festbrennstoffe besteht darin, wie die verschiedenen Stufen (Trocknung, Pyrolyse, homogene Gasphasenreaktion und heterogene Koksreaktion) repräsentiert werden sollen. Diese Arbeit beschränkt sich dabei nur auf die Modellierung der homogenen Gasphasenreaktion. Dies ist laut (Juschka 2019) zulässig. Der Ersatzbrennstoff bestand aus Methan (CH_4), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O). Als Verbrennungsmodell wurde das hybride Eddy Break-Up Modell verwendet. Der erste Schritt des gewählten Zwei-Schritt Methanreaktionsmechanismus läuft ausschließlich mischungskontrolliert ab. Im zweiten Schritt wurden sowohl der mischungskontrollierte als auch der temperaturkontrollierte Pfad berücksichtigt. Die Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit erfolgte dabei über einen Arrhenius-Ansatz mit den Faktoren nach Westbrook und Dryer (Westbrook und Dryer 1984). Für die mischungskontrollierten Pfade wurde der Magnussenkoeffizient A_{mag} = 1,9 gewählt. Als Turbulenzmodell wurde das Realizable k-ε Two-Layer Modell eingesetzt. Die Modellierung der Strahlung erfolgte über das DO-Radiation Modell. Der Absorptionskoeffizient des Fluids wurde über das WSSG-Modell ermittelt. Da die zur Verfügung stehende Rechenleistung für eine transiente Simulation des kompletten Abbrandes nicht ausreichte, konnte lediglich die Hauptabbrandphase im Tunnelofen über einen Steady-State Ansatz simuliert werden.
Für die anschließende Parameterstudie der Luftschlitze, welche sich rund um den Brennraum des Kachelofens befindet, wurde die simulierte Modellgeometrie verringert, um bei gleicher Genauigkeit mehr Durchläufe pro Zeiteinheit zu erhalten. Die Grenzen der einzelnen veränderlichen Abmaße der Luftschlitze wurden dabei so gewählt, dass sie sich nur in einem praxistauglichen Bereich verändern können.

5. ERGEBNISSE

Die Abbildung 1 zeigt den Vergleich zwischen dem ersten Modell auf der linken Seite, dem in dieser Arbeit erstellten Modell und der Aufnahme mit einer Wärmebildkamera auf dem Prüfstand acht bis zehn Stunden nachdem der Heizvorgang gestartet wurde. Dabei ist zu erkennen, dass das Modell aus dieser Arbeit die Oberflächentemperaturen vor allem im Glasbereich besser wiedergibt. Bei der Validierung der Verbrennungssimulation mit den Messwerten konnte eine gute Übereinstimmung (Abweichung < 5%) für fast alle Werte gefunden werden. Einzig bei der Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas betrug die Abweichung 33,2%. Die Parameterstudie lieferte insgesamt 14 optimierte Designs, wobei das Beste eine Verringerung der Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas um 86% verspricht.

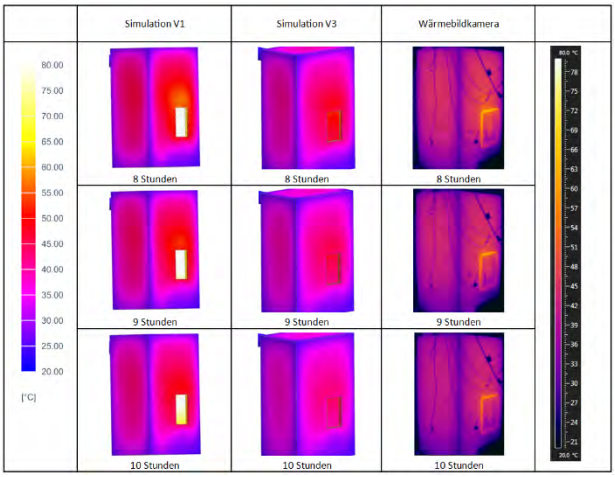


Abb. 1: Vergleich der Oberflächentemperaturen

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Verbesserung des Modells aus dem Forschungsbericht hat hervorragend funktioniert. Auch der Großteil der Werte der Verbrennungssimulation liegen in einem zufriedenstellenden Toleranzbereich. Einzig die Abweichung der Kohlenstoffmonoxidkonzentration sollte nochmals untersucht werden.
Für zukünftige Untersuchungen, welche an die Ergebnisse dieser Arbeit anschließen, wäre als oberste Priorität die experimentelle Untersuchung der Optimierungsergebnisse zu sehen. Ein weiterer nächster Schritt wäre die Kombination der Modelle, um eine Verbrennungssimulation über 12 oder mehr Stunden durchzuführen.

7. LITERATURVERZEICHNIS (10 PT, CAPITALS, BOLD)

Incropera, Frank P., DeWitt, David P., Bergman, Theodore L., Lavine, Adrienne S. 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer,* John Wiley & Sons Ltd, ISBN 9780470501979, Chichester

Juschka, W., 2019. *"Modellgestütze Entwicklung von Kleinfeuerungen für feste Biobrennstoffe", PhD thesis,* Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart

Lecheler S., 2009. *Numerische Strömungsberechnung,* Vieweg+Teubner, ISBN 978-3-8348-0439-6, Wiesbaden

Mantler, J., Schiffert, T., Haselböck, R., Schüssler, F., Stangl, F., Riebenbauer S., 2019. *"KachelofenSimulation – Numerische Simulation von Kachelöfen", Abschlussbericht,* Österreichischer Kachelofenverband, Wien

Westbrook, C.K., Dryer, F.L., 1984. Chemical kinetic modelling of hydrocarbon combustion. *Progress in Energy and Combustion Science,* Vol. 10, No. 1, page numbers (1-57), ISSN 0360-1285

AUTOR

Stefan Riebenbauer, BSc.
Adresse: Untere Zeile 23, 3482 Gösing
E-Mail: stefan.riebenbauer89@gmail.com
Beruf: 2017-heute ACAM Engineering (Berechnungsingenieur)
Ausbildung: 2018-2021 FH Wiener Neustadt (Mechatronik)
2015-2018 FH Campus Wien (High Tech Manufacturing)
2009-2015 HTBLuVA St. Pölten (Maschinenbau)

GENERALISIERTE BALKENTHEORIE FÜR PRISMATISCHE PROFILQUERSCHNITTE

Rene Schindler

Kurzfassung: *Inhalt der Arbeit ist die effiziente, mechanische Analyse von Balkenstrukturen auf dynamisches Verhalten. Die hierbei häufig angewandte klassische Balkenmechanik unter der Annahme eines in der Ebene starren Querschnitts wird für die Lastfälle Biegung und (Wölbkraft-) Torsion diskutiert, wobei die Lösungen deutliche Abweichungen gegenüber Kontinuumsmodellen bei dynamischen Anwendungen zeigen. Als Alternative zu diesen rechenaufwendigen Kontinuumslösungen wird eine zweistufige Finite Elemente Methode in Form einer Generalisierten Balkentheorie vorgestellt, bei welcher zuerst eine Querschnittsanalyse auf Basis eines Referenzbalkenproblems erfolgt und die Resultate daraus anschließend in eine Balkenanalyse einfließen. Im Vergleich mit den Referenzlösungen auf Basis drei-dimensionaler Kontinuumsmechanik zeigt sich, dass bei wesentlich geringerem Rechenaufwand mit einer Generalisierten Balkentheorie ähnlich gute Resultate gefunden werden können.*

Schlüsselwörter: *Generalisierte Balkentheorie, Querschnittsanalyse, Referenzbalkenproblem, Distortionen und Verwölbungen des Querschnitts*

1. EINLEITUNG

Die Balkenmechanik bildet seit langer Zeit einen wichtigen Bestandteil der Mechanik und ist in den Ingenieurswissenschaften allgegenwärtig. Sei es im Maschinenbau oder im Bauingenieurwesen, die Balkenmechanik bildet häufig die Berechnungsgrundlage für Strukturen in den verschiedensten Disziplinen. Speziell für statische Berechnungen finden die Methoden der klassischen Balkentheorie (Classical Beam Theory (CBT)) nach wie vor ihre Verwendung. Bei CBT wird der Querschnitt des Balkens als starr angenommen [Kugler2015], was bedeutet, dass der Querschnitt zwar verschoben und verdreht wird, jedoch keine Verwölbung bzw. keine Distortionen erfährt. Diese Herangehensweise liefert für ein breites Spektrum der Anwendungen gute Ergebnisse.

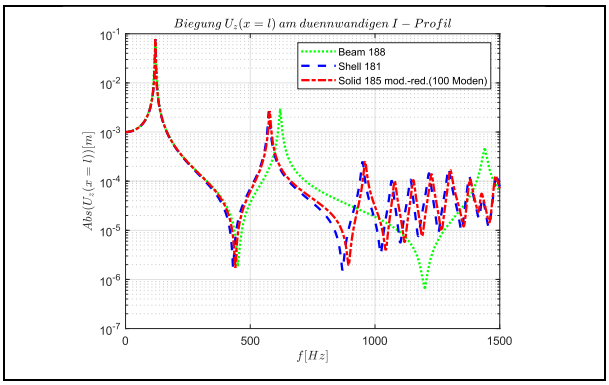


Abb. 1: Unterschiede im dynamischen Verhalten von Balken-, Schalen- und Kontinuumsformulierungen

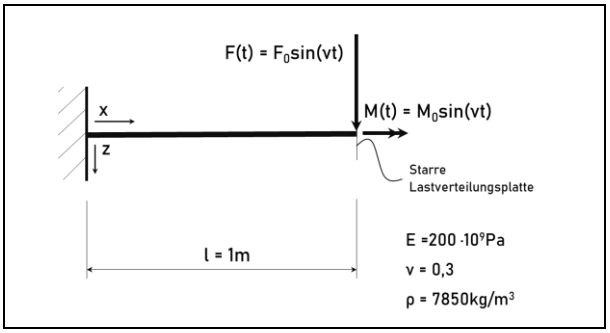


Abb. 2: Lastfälle: Biegung in z-Richtungen und Torsion;

Dies kann an der harmonischen Antwort eines I-Trägers (vgl. Abb. 2 für Belastung in z-Richtung und Querschnitt aus Abb. 3b) erkannt werden, wobei Balkenlösungen (Beam188) mit Schalen- oder Kontinuumslösungen (Shell181 bzw. Solid185) in Abb. 1 miteinander verglichen werden.
Um die Recheneffizienz von Balkenlösungen mit der Genauigkeit von Kontinuumslösungen zu vereinen, lohnt es sich, Überlegungen in Richtung einer Generalisierten Balkentheorie (GBT) anzustellen [Schulz1996]. In einer solchen GBT werden die Verwölbungen und Distortionen des Querschnittes berücksichtigt [Kugler2020], deren Vernachlässigung die schlechte Vorhersagekraft von klassischer Balkenmechanik begründen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Natürlich ist es möglich balkenartige Strukturen mittels Finite Elemente-Analyse unter Verwendung von Schalen- oder Volumselementen zu untersuchen und damit auch die beschriebenen Verwölbungen und Distortionen abzubilden. Bei Kontinuumsformulierungen dünnwandiger Strukturen ist die Geometrie jedoch mit entsprechend vielen Elementen über die Wandstärke und in Balkenlängsrichtung zu diskretisieren. Dies führt selbst bei akademischen Modellen zu äußerst großen Elementsanzahlen und zu hohen Rechenzeiten, besonders im Falle von dynamischen Untersuchungen. In der vorliegenden Arbeit wird diese Vorgehensweise lediglich zum Erstellen von Referenzlösungen gewählt [Ansys2019].

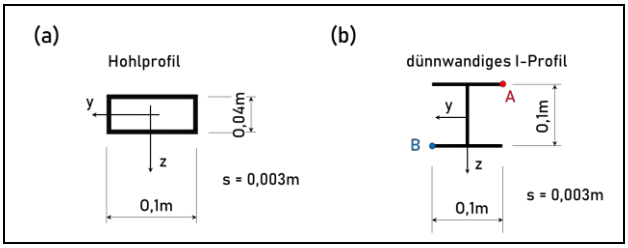


Abb. 3: Querschnitte des Hohlprofils und des dünnwandigen I-Profils

Die Generalisierte Balkentheorie soll diesbezüglich Abhilfe schaffen und ähnliche Resultate mit deutlich geringerem Rechenaufwand ermöglichen [Schardt1989]. Sämtliche Untersuchungen in dieser Arbeit erfolgen am Hohlprofil (Abb. 3a) und am dünnwandigen I-Profil (Abb. 3b).

3. GENERALISIERTE BALKENTHEORIE

Bei der Generalisierten Balkentheorie wird in zwei Schritten vorgegangen. Auf Basis einer Querschnittsanalyse am Referenzbalken erfolgt eine Balkenanalyse, die die Ergebnisse der Querschnittsanalyse einflicht.

Querschnittsanalyse am Referenzbalken

Im ersten Schritt wird die Querschnittsanalyse (Cross-sectional Analysis) durchgeführt, aus welcher die Distortionen, sowie die Verwölbungen gefunden werden [Kugler2021]. Dabei wird ein Referenz-Balkenproblem (RBP) gelöst, bei welchem ein sogenannter Referenzbalken mit Semi-Analytischen Finiten Elementen (SAFE) diskretisiert wird [Zienkiewicz2000]. Das Verschiebungsfeld des Referenzbalkens wird dabei mit Hilfe des Separationsansatzes

$$\mathrm{u}(x,y,z) = f(y,\mathrm{z}) \cdot \mathrm{g}(x) \tag{1}$$

beschrieben. Das Verschiebungsfeld in Abhängigkeit der Querschnittskoordinaten wird durch die Funktion $\mathrm{f}(y,z)$ auf Basis von isoparametrischen vierknotigen Finiten Elementen beschrieben. Die Funktion $\mathrm{g}(x)$ beschreibt das Verschiebungsfeld in Balken-Längsachse unter Verwendung von analytischen Funktionen in Form von Fourier-Reihen, wobei die Lagerung des Referenzbalkens gem. Abb. 4a über diese analytischen Funktionen bestimmt wird.
Nachdem die in Abb. 4a dargestellte Lagersituation für das RBP gewählt wird, ergeben sich mit der Referenzbalkenlänge l und der Wellenzahl n die folgenden Proportionalitätsbeziehungen (Abb. 4b)

$$\mathrm{u_x} \sim \cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right), \tag{2}$$

$$u_y \sim \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right), \tag{3}$$

$$u_z \sim \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right). \tag{4}$$

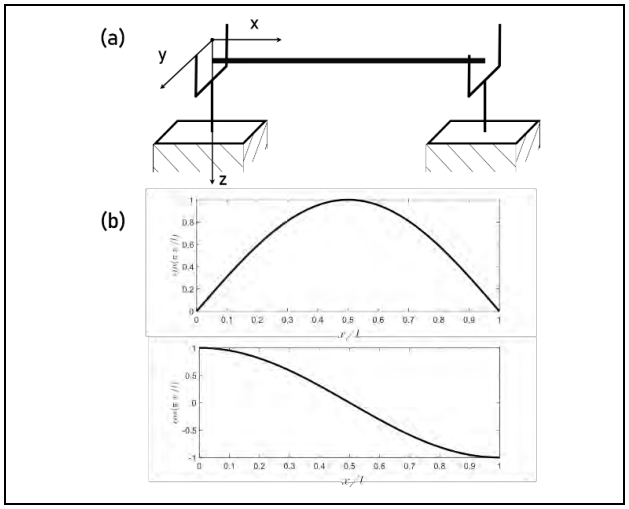


Abb. 4: Gabellagerung: Lagersituation am Referenzbalken und Umsetzung mittels analytischer Funktionen

Aus Semi-Analytischen Verschiebungsansätzen können in weiterer Folge Verzerrungen gewonnen werden. Das Prinzip der Virtuellen Arbeit

$$\delta W_a + \delta W_i + \delta W_{kin} = 0 \tag{5}$$

liefert dann die Steifigkeits- und Massenmatrix aus der virtuellen Arbeit der inneren Kräfte δW_i bzw. jener der Trägheitskräfte δW_{kin}. Mit der Steifigkeitsmatrix $\boldsymbol{K}$ und der Massenmatrix $\boldsymbol{M}$ zufolge nur einer Wellenzahl $n = 1$ des RBPs können durch eine Modale Analyse (virtuelle Arbeit der äußeren Kräfte, δW_a, verschwindet),

$$(\boldsymbol{K} - \omega^2 \boldsymbol{M})\boldsymbol{\Gamma} = 0\,, \tag{6}$$

die Verwölbungs- und Distortionsmoden

$$\boldsymbol{\Gamma}_i = \begin{bmatrix} \boldsymbol{U}_x{}^{(i)} \\ \boldsymbol{U}_y{}^{(i)} \\ \boldsymbol{U}_z{}^{(i)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{w}_x{}^{(i)} \\ \boldsymbol{d}_y{}^{(i)} \\ \boldsymbol{d}_z{}^{(i)} \end{bmatrix} \tag{7}$$

gewonnen werden. Die Eigenvektoren $\boldsymbol{\Gamma}_i$ aus (6) werden anhand der Resonanzfrequenzen $\omega/2\pi$ aufsteigend gereiht, die Verwölbungen $\boldsymbol{w}_x{}^{(i)}$ werden durch die Verschiebungen $\boldsymbol{U}_x{}^{(i)}$ und die Distortionen $\boldsymbol{d}_y{}^{(i)}\ bzw.\ \boldsymbol{d}_z{}^{(i)}$ durch $\boldsymbol{U}_y{}^{(i)}$ bzw. $\boldsymbol{U}_z{}^{(i)}$ beschrieben. Die Wellenzahl $n = 1$ zu setzen führt, unter der Voraussetzung einer ausreichend groß gewählten Referenzbalkenlänge, dazu, dass im dreidimensionalen Referenzbalkenproblem nur die ersten vier Moden tatsächlich die physikalischen Schwingungsformen des Balkenproblems wiedergeben. Der erste Mode ($i = 1$) liefert die Biegung um die weiche Achse, der zweite ($i = 2$) die Biegung um die steife Achse, der dritte ($i = 3$) die axiale Verdrehung um die Schwerpunktsachse und der vierte ($i = 4$) die Dehnung in Richtung der Stabachse ab. Alle Moden darüber hinaus ($i > 4$) können als Unphysikalische Moden bezeichnet werden, da sie nicht wirklich vorkommen. Diese entstehen lediglich durch den Kunstgriff, die Wellenzahl $n = 1$ als ausreichend anzusehen, welcher die Distortionen und Verwölbungen triggert [Kugler2020]. Auf diese Weise können Distortionen und Verwölbungen gewonnen werden, ohne sie von den dominanten Schwingungsformen des Balkens separieren zu müssen.
Der linke Teil der Abb. 5a zeigt die Starrkörperverdrehung aus dem dritten Mode ($i = 3$), während der rechte Teil aus Abb. 5a das zugehörige Verwölbungsfeld darstellt, wie es auch für die Vlasov-Torsionstheorie mit Hilfe der Laplace-Gleichung gewonnen werden kann. In Abb. 5b ist der fünfte Mode ($i = 5$) dargestellt, bei welchem im linken Teil der Abbildung klar die Querschnittsdistortionen ersichtlich sind, wobei rechts wieder die zugehörigen Verwölbungen zu erkennen sind. D.h.: Ein Mode des RBPs wird zu einem Paar bestehend aus Distortions- und zugehörigem Wölbfeld aufgespalten, wobei Konvergenz der nun folgenden Balkenanalyse hinsichtlich steigender Modepaar-Zahlen erwartet wird.

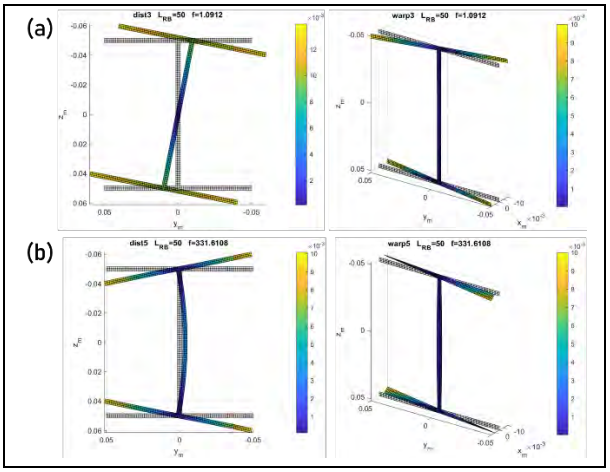


Abb. 5: 3. & 5. Mode des Referenzbalkes

Balkenanalyse

In einem zweiten Schritt, der Balkenanalyse, erfolgt die Gewichtung dieser Modenpaare mit generalisierten Freiheitsgraden $\alpha_i(x)$ für Verwölbungen und $\beta_i(x)$ für Distortion, wobei hier kubische Ansatzfunktionen verwendet werden. Die Matrix $\boldsymbol{N}(\xi,\eta)$ beinhaltet dabei die bilinearen Ansatzfunktionen für die Diskretisierung des Querschnittes.

$$u_x{}^{(i)}(\xi,\eta,x) = \boldsymbol{N}(\xi,\eta)\boldsymbol{w}_{x\,e}{}^{(i)}\alpha_i(x) \tag{8}$$

$$u_y{}^{(i)}(\xi,\eta,x) = \boldsymbol{N}(\xi,\eta)\boldsymbol{d}_{y\,e}{}^{(i)}\beta_i(x) \tag{9}$$

$$u_z{}^{(i)}(\xi,\eta,x) = \boldsymbol{N}(\xi,\eta)\boldsymbol{d}_{z\,e}{}^{(i)}\beta_i(x) \tag{10}$$

Nachdem die Verschiebungen in dieser Form angeschrieben werden konnten, können daraus die Verzerrungen und Spannungen gewonnen werden und in (5) eingesetzt werden. Aus der virtuellen Arbeit der Trägheitskräfte δW_{kin} folgt also nach Herleitung die Massenmatrix, die virtuelle Arbeit der inneren Kräfte δW_i liefert die Steifigkeitsmatrix, während die virtuelle Arbeit der äußeren Kräfte δW_a zum Kraftvektor zufolge der äußeren Lasten führt. Jedes Modenpaar des RBPs führt demnach zu zwei Freiheitsgraden in der Balkenanalyse, wobei Konvergenz hinsichtlich steigender Balkenelementsanzahl erwartet wird.

4. ERGEBNISSE

Die Resultate aus der Harmonischen Analyse werden mit Lösungen aus dem kommerziellen Berechnungsprogramm ANSYS verglichen [Ansys2019]. Die Betrachtung der Ergebnisse für Biegung zeigt grundsätzlich, dass sich die Lösung mit GBT mit mehr berücksichtigten Moden an die Kontinuumslösung annähert. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich bei ausschließlicher Berücksichtigung der entsprechenden Starrkörpermoden ($i = 1,2,3,4$) des Querschnitts eine klassische Balkenlösung, bei welcher der Querschnitt als starr angesehen wird, ergibt. Werden zusätzliche höhere Moden in die Berechnung miteinbezogen, so werden auch Querschnittsverformungen abgebildet, und die GBT-Lösung konvergiert zur Referenzlösung mit steigender Anzahl mitberücksichtigter Moden. In Abb. 6 ist das anhand der Biegung u_z am I-Profil veranschaulicht, wobei die äußere Kraft lediglich das zweite, das achte und das 13. Modenpaar für $i < 14$ anregen kann.

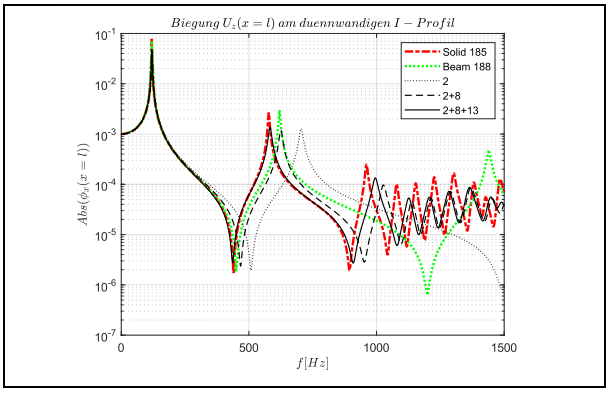


Abb. 6: Verbesserung der Lösung durch Berücksichtigung von höheren Moden: Eine Lösung mit lediglich dem entsprechenden Biegemode (Mode 2) liefert eine Lösung ähnlich klassischer Balkentheorie. Bereits das Hinzufügen eines höheren Modes mit einem Beitrag zur Lösung (Mode 8) bildet Verformungen im Querschnitt ab.

Für das Hohlprofil konnte für die Biegung u_z ähnliches beobachtet werden. Auch in diesem Fall hängt das dynamische Verhalten, besonders in der beschriebenen z-Richtung, von den Querschnittsverformungen ab, wie in Abb. 7 zu ersehen ist.
Die Torsionsuntersuchungen liefern Resultate, bei welchen eine Lösung mit dem entsprechenden Torsionsmode (3. Mode) eine klassische Torsionslösung beispielsweise nach Vlasov abbildet [Kollbrunner1969, Vlasov1959]. Wieder führt die Berücksichtigung von höheren Moden zu einer Verbesserung der Resultate hinsichtlich Dynamik, wobei aus Symmetriegründen wieder nur jene Modenpaare berücksichtigt wurden, die von der Last auch angeregt werden können. Die klassische Torsionstheorie kann nur den ersten Resonanzpeak richtig abbilden. Eine GBT-Lösung hingegen ermöglicht eine Aussage über den Einfluss von Distortionen und Verwölbungen über ein weites Frequenzband. In Abb. 8 sind die erzielten Ergebnisse für Torsion am I-Profil dargestellt.
Bei einer Belastung außerhalb des Querschnitt-Schwerpunkts, ist die entkoppelte Betrachtung von Biegung und Torsion möglich, solange es sich um einen doppelt-symmetrischen Querschnitt handelt. In diesem Fall liegt der Schubmittelpunkt an der Stelle des Schwerpunkts.

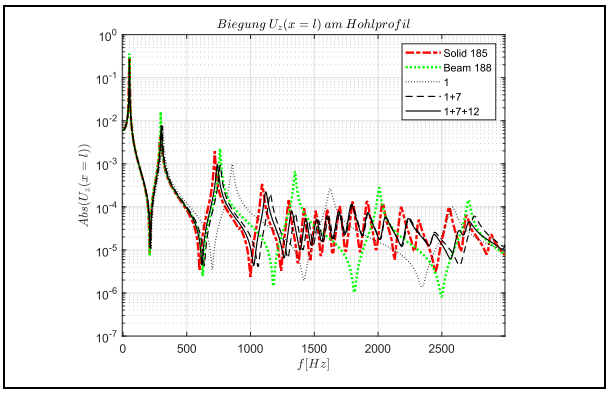


Abb. 7: Auch anhand dieser Resultate ist klar zu erkennen, dass im höheren Frequenzbereich, das Verhalten stark von den Querschnittsverformungen abhängt und ein klassisches Balkenresultat keine zufriedenstellenden Ergebnisse diesbezüglich liefert.

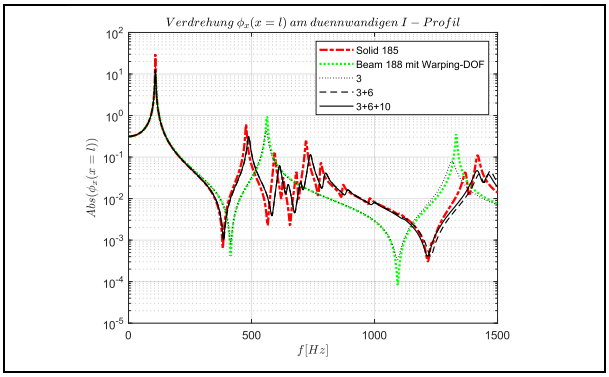


Abb. 8: Vergleich von klassischer Torsionstheorie, Kontinuumslösung und GBT

Für die vorliegenden Resultate (siehe Abb. 9) erfolgt die Belastung im Punkt A mit einer Einzelkraft in z-Richtung, wobei die Verschiebungen am Punkt B betrachtet werden (siehe Abb. 3b). Es sei bemerkt, dass in diesem behandelten Fall keine starre Lastverteilungsplatte am Ende des Kragträgers vorhanden ist, wodurch Verwölbung und Distortion an dieser Stelle nicht behindert werden und damit deutliche Abweichungen zwischen klassischer Balkenmechanik und Kontinuumslösungen erwartet werden. Die Resultate für diesen Lastfall zeigen ebenso gute Übereinstimmung mit den Referenzlösungen. In Abb. 9 sind die Resultate am Punkt B für ein Frequenzband von 0Hz bis 1000Hz dargestellt.

Die Lösung, bei der nur die ersten 4 Moden mitgerechnet wurden, entspricht einer Lösung, wie sie auch mit klassischer Balkenmechanik gefunden werden könnte. Bezogen auf die Referenz- und GBT-Lösungen ist zu bemerken, dass ein solcher Lastfall mehr Moden im beobachteten Frequenzband anregt und diese auch abgebildet werden. Dies zeigt klar den Vorteil gegenüber CBT in Bezug auf die Vorhersagekraft des Rechenmodells, wobei der Rechenaufwand verglichen mit 3D-Kontinuumlösungen moderat und überschaubar bleibt. Die Freiheitsgradanzahl f_{Kont} für ein Kontinuumsmodell kann mit dem Zusammenhang $f_{Kont} = 3 \cdot k_{Kont}$ berechnet werden, wobei erwähnt sei, dass beim Kontinuumsmodell die Knotenanzahl k_{Kont} wesentlich höher ist als beim GBT-Modell. Die Freiheitsgradanzahl f_{GBT} des GBT-Modells kann mit der verwendeten Modenanzahl m, und der Balkenelementsanzahl n nach dem Zusammenhang $f_{GBT} = ((n+1)+2 \cdot n) \cdot m \cdot 2 = 2 \cdot k_{GBT} \cdot m$ ermittelt werden, wobei k_{GBT} die Knotenanzahl des GBT-Modells beschreibt. Es gilt dabei stets $k_{GBT} \ll k_{Kont}$. Nun wird deutlich, dass ein GBT-Modell bedeutend weniger Freiheitsgrade aufweist als ein vergleichbares Kontinuumsmodell, woraus sich auch die hohe Effizienz dieser Methode bei vernachlässigbarem Genauigkeitsverlust ergibt.

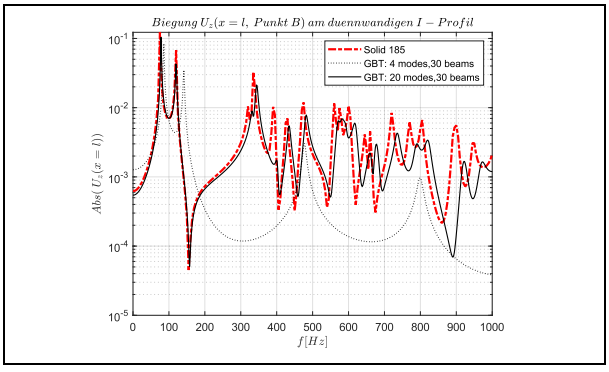


Abb. 9: Resultate für die Verschiebung u_z am Punkt B bei Belastung außerhalb des Schwerpunkts

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Arbeit zeigt eine effiziente Berechnungsmethode zur Untersuchung von Balkenstrukturen. Nachdem die Grenzen verschiedener klassischer Biege- und Torsionstheorien aufgezeigt wurden und somit verdeutlicht wird, dass dynamische Untersuchungen mit derartigen Methoden nur bis zu einem sehr niedrigen Grad zufriedenstellende Resultate liefern, wird eine GBT angewandt, mit welcher diese Problematik in den Griff bekommen werden kann. Natürlich steht auch die Anwendung einer Analyse mit Schalen- bzw. Kontinuumselementen zur Verfügung, wobei diese durch den auflaufenden Berechnungsaufwand nicht effizient erscheint. Im Zuge dieser Arbeit werden Lastfälle an einem geschlossenen boxartigen Hohlprofil, ähnlich einem Formrohr und einem I-Profil untersucht. Nach dem Vergleich der statischen Lösungen und den Resultaten aus der Modalen Analyse folgt die dynamische Untersuchung auf Basis der Harmonischen Analyse. In einem ersten Schritt erfolgt die Belastung des Balkens über eine starre Lastverteilungsplatte an der Stirnseite des Tragwerks. Auf diese Weise wird Biegung und Torsion entkoppelt voneinander untersucht und die Resultate daraus mit Kontinuumslösungen verglichen. In einem weiteren Schritt wird die starre Platte entfernt und die Last an einem exzentrischen Punkt aufgebracht. Auf diese Weise wird gezeigt, dass auch die Untersuchung von Verschiebungsfeldern zufolge von Überlagerung von Biegung und Torsion möglich ist. Es ist also mit der vorgestellten GBT möglich, Tragstrukturen auf ihr dynamisches Verhalten hin effizient zu untersuchen ohne rechenaufwendige Kontinuumsmodelle zu verwenden. Speziell bei der Untersuchung des dünnwandigen I-Profils ist ersichtlich, dass sich diese Methode jedenfalls lohnt, da aufgrund der geringen lokalen Steifigkeiten bereits in einem niedrigen Frequenzband sehr viele Moden angeregt werden.

Eine Untersuchung der vorgestellten Analysetechnik bezüglich Transienter Lösungen mit Newmark-Zeitintegration [Newmark1959] in Form von Stoß- und Sprungantworten wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt und könnte Bestandteil weiterführender Untersuchungen in diesem Bereich sein.

6. LITERATURVERZEICHNIS

ANSYS, 2019. *Ansys v16 documentation*

Fotiu, P. A. 2015. *Finite Elemente 1,* Eigenverlag FHWN

Kollbrunner, C. F. 1969. *Torsion in structures*, Springer-Verlag New York

Kugler, S. 2015. *Technische Mechanik,* Eigenverlag FHWN

Kugler, S. 2020. *Beam dynamics using a generalized beam theory based on the solution of a reference beam problem,* Analysis of Shells, Plates and Beams, Springer International Publishing

Kugler, S. 2021. *A novel GBT-formulation for thin-walled FGM-beam-structures based on a reference beam problem,* Composite Structures, Vol. 257(1)

Newmark, N. 1959. *A method of computation for structural dynamics, Journal* of Engineering Mechanics, Vol. 85(3)

Schardt, R. 1989. *Verallgemeinerte Technische Biegetheorie,* Springer, Berlin, Heidelberg

Schulz, M. 1996. *Generalized warping torsion formulation,* Journal of Engineering Mechanics Vol.124 (3):339-347

Vlasov, Z.V. 1959. Thin-walled Elastic Beams, matematicheskoi litaeratury Moskava

Zienkiewicz, F. 2000. *The Finite Element Method, Fifth edition;* Volume 2: Solid Mechanics, Butterworth Heinemann

RENE SCHINDLER

Rene Schindler, BSc

Fachhochschule Wiener Neustadt, Johannes-Gutenberg-Straße 3, rene.schindler@fhwn.ac.at

2007-2011 Fachschule für Maschinenbau und Anlagentechnik an der HTL Eisenstadt, 2011-2015 Maschinen- und Stahlbauschlosser, 2015-2016 Berufsreifeprüfung, 2016-2019 Bachelorstudium Mechatronik und Microsystemtechnik an der Fachhochschule Wiener Neustadt, 2019-2021 Masterstudium Mechatronik/Computational Engineering an der Fachhochschule Wiener Neustadt

MCI: FPGA-BASED CONTROL OF THE TELEROBOTIC SURGICAL SYSTEM "DA VINCI RESEARCH KIT"

Kohlgrüber S.

Abstract: *The da Vinci Research Kit (dVRK) is an open-source hardware/software platform for researchers based on the da Vinci surgical system. Until now, the torque controller of the dVRK was implemented in analog form, which makes customizations for improved performance difficult. Therefore, the present work aims for the improvement and digital implementation of the low-level control. The use of the internal electronics and encoders enable a model-based controller design which is consequently implemented on the available FPGA. Experiments demonstrate that the new torque controller design yields a performance significantly superior over the originally implemented design. Moreover, the position control allows for high-fidelity trajectory tracking with marginal errors. The comparison between simulation and measurement verifies the validity of the model based on the addressed system identifications, enabling utilization for future adaptations. The improved low-level control allows for more accurate operation, facilitating autonomous surgery and haptic feedback. Moreover, the achieved digital implementation enables users to adapt the low-level control easily in future versions of the dVRK.*
Key words: *Robotic surgery, FPGA-based control, dVRK.*

1. INTRODUCTION

Robotic-assisted surgery offers the possibility of minimally invasive methods for multiple types of surgeries, leading to shorter hospitalizations and hence reducing the burden of health care institutions with limited capacity (Moustris et al. 2011). Representing only one of many advantages, this explains the demand for even faster evolution in this field. One of the most popular robotic surgery systems is the da Vinci surgical system by Intuitive Surgical. However, since it is a proprietary product, the acquisition costs for research institutions are high. To overcome this hurdle, in 2012, the Johns Hopkins University introduced the da Vinci Research Kit (dVKR) (Kazanzides et al. 2014) based on the mechanical setup of the classical da Vinci. As depicted in Fig. 1, it consists of two master tool manipulators (MTM), two or three 7DoF patient side manipulators (PSM), and an endoscopic camera manipulator (ECM). The MTM senses the movements of the surgeon. Consequently, the PSM performs the surgery at the patient side by mimicking the sensed commands with a predefined downscaling factor. The present work aims to improve the control performance of the dVRK.

2. PROBLEM DEFINITION AND OBJECTIVES

The da Vinci Research Kit is a sophisticated system, aiming for maximal modularity and scalability. Based on the desired trajectory, the mid-level control provides target values using the inverse kinematics of the robot to the individual joint controllers. The latter are implemented in the low-level layer using the electronics shown in Fig. 1. Its control, which is responsible for achieving the required motor currents, was previously performed in the form of an analog loop. However, analog control lacks the flexibility for simple configurations and modifications as compared to the flashing of a Field

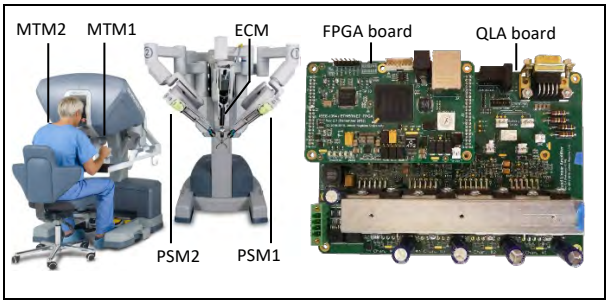


Fig. 1: da Vinci surgical system mechanical setup (Intuitive Surgical 2015) and combined Quad Linear Amplifier (QLA) Board and FPGA board of the dVRK electronics.

Programmable Gate Array (FPGA) or changing the controller coefficients via software. Therefore, the objective of this work is to design and implement the low-level control digitally on an FPGA and to improve its performance compared to the implemented analog motor current/torque control loop. To increase the patient safety, overshoot is to be avoided. Furthermore, position control of the individual axes in joint-space is aimed to be realized in firmware as well. Dedicated emphasis is put on modularity, extensibility, and configurability to facilitate convenient reusability and adaptation to aid utilization for other robotic arms.

3. METHODS

The closed-loop performance of the designed controller is simulated in MATLAB/Simulink upfront before the implementation in Verilog using the Xilinx ISE. The timing of the created controller module is verified in ModelSim using a test bench before the implementation on the FPGA of the real system takes place. For an objective quantitative comparison of performance measures, the central Linux PC is used to control the FPGA registers. The required code is written in C++ using and extending provided libraries. The data recorded using the internal electronics and encoders are automatically stored in log files for further postprocessing in MATLAB.

4. DESIGN

Since the expected variations of moment of inertia and load are very low for the targeted application, the position control is implemented as a cascaded loop using two PID controllers as depicted in Fig. 2. For improved control, the governing parameters are identified using the regression method based on the open-loop system response. This enables to account for influences such as component parasitics, tolerances, or transition resistances. As a consequence, the model is sufficiently accurate to allow its usage for the verification of the torque controller design and tuning of the position controller in simulation within MATLAB Simulink. This enables to obtain higher performance (faster rise times) through the exploitation of nonlinear behaviors, such as control signal saturation, that are difficult to analyze mathematically.

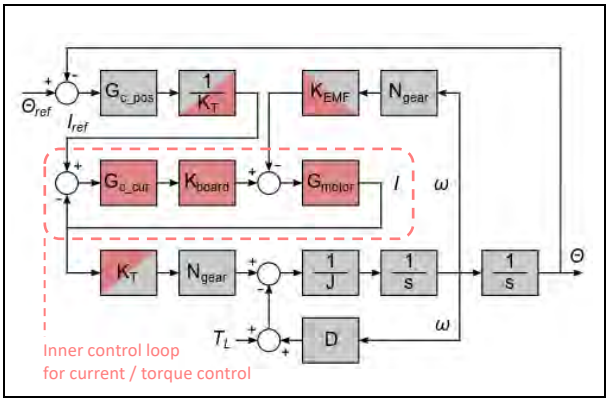


Fig. 2: Block diagram of the cascaded control system for one axis, with inner torque control and outer position control loop. Red and grey denote the electrical and the mechanical parts of the system, respectively.

5. RESULTS

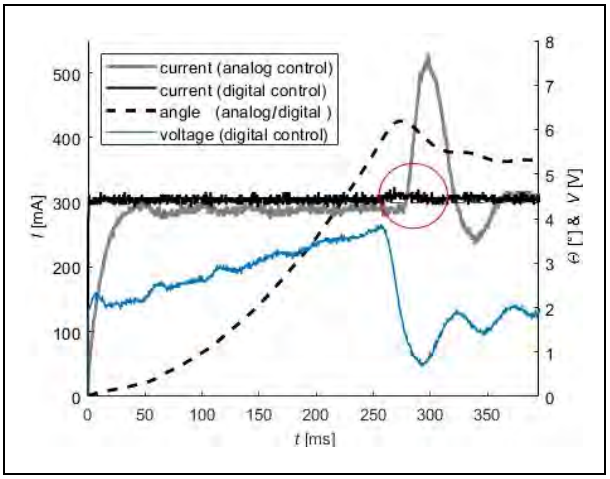


Fig. 3: Step response of old analog and new digital torque controller and their impact on the same load change.

The performance of the new digital controller is superior over the one of the analog controller. Fig. 3 shows the direct comparison of the rise time of 1ms instead of 30ms without any overshoot and the improved reaction to the same sudden load change. While it caused an overshoot of 70% with the old controller, it is nearly completely suppressed with the new digital torque controller (encircled in red). The digital position control on the FPGA enables a high-fidelity trajectory-tracking with errors in the range of fractions of a degree, as exemplarily shown for the first joint leading to Fig. 4. However, the control is implemented and designed for all 7 joints separately which enables an improved response for each individual joint. The chosen register-implementation on the FPGA facilitates further live-customization of the control parameters via SW depending on the applied surgical instrument or desired system response.

AUTHOR

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

The present work demonstrates improved control of the dVRK PSM. The digital controller can be implemented on existing dVRK systems by making minor changes to the electronics and will be incorporated in future versions of the open-source electronics design. In addition to the torque controller, a position controller is designed using simulation to cover nonlinear influences such as saturation to obtain high-fidelity tracking performance. Both controllers are implemented on the FPGA. The implemented position and current controllers are currently integrated in the open-source dVRK software stack of the Johns Hopkins University. This allows the improvements to be used by the community consisting of 40 research institutions worldwide. Further, it is expected that the improved control performance will enable other researchers to obtain better experimental results with the dVRK. Given the most recent trend in robotic surgery towards higher degrees of autonomy, the present work has the potential to pave the way for more rapid developments in the field of fully autonomous surgery. A paper summarizing the findings was accepted and presented at the 2021 *IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)* (Kohlgrueber et al. 2021).

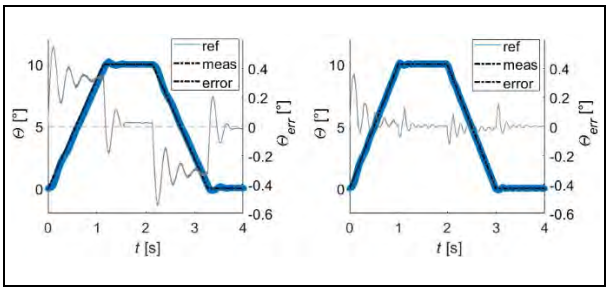


Fig. 4: Comparison of the ramp response with old (left) and new (right) digital position controller implemented on the FPGA.

7. LITERATURE

Intuitive Surgical, 2015. da Vinci robotic system, *Available from:* http://www.intuitivesurgical.com/company/media/images/singlesite.html *Accessed:* 2015-07-13

Kazanzides, P.; Chen, Z.; Deguet, A.; Fischer, G.; Taylor, R. & DiMaio, S., 2014. An open-source research kit for the da vinci surgical system, 2014 *IEEE international conference on robotics and automation*, pp. 6434-6439, 978-1-4799-3685-4, Hong Kong, June 2014.

Kohlgrueber, S.; Kim, Y. & Kazanzides, P., 2021. Model-based Design and Digital Implementation to Improve Control of the da Vinci Research Kit Telerobotic Surgical System, *2021 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA),* presented on June 3rd 2021

Moustris, G. P.; Hiridis, S. C.; Deliparaschos, K. M. & Konstantinidis, M., 2011. Evolution of autonomous and semi-autonomous robotic surgical systems, *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery, vol. 7, no. 4, pp. 375-392, 21815238*

Ing. Stefan Kohlgrüber, MSc

MCI Innsbruck, Universitätsstraße 15, 6020 Innsbruck, +43 650 444 0845, stefan.kohlgrueber@hotmail.com

Stefan finished the HTL Rankweil in 2011. After 3 years in the field of power electronics with Tridonic, he started his Mechatronic studies at MCI with a semester as an exchange student at Fontys University of Applied Sciences in Eindhoven in 2017 and another semester as visiting research scholar at the Johns Hopkins University (USA) in 2020. He currently holds a position within the Design & Disruptive Technologies team of Leica Geosystems / Hexagon.

MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK: "DEVELOPMENT AND VALIDATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR WEARABLE PLATFORMS IN THE AREA OF HEALTH AND SAFETY"

Reiß, F.

Kurzfassung: *Zur Steigerung der Nachhaltigkeit hinsichtlich der Arbeitssicherheit, Gesundheit und Effizienz von Arbeitern auf Baustellen, soll die Realisierbarkeit einer Powertool Aktivitäts-erkennung mittels eines Machine Learning Algorithmus auf einem tragbaren Sensorgerät untersucht werden. In Folge der durchgeführten State of the Art-Recherche, wurde eine sequenzielle neuronale Netzstruktur mittels Keras in Python auf einem PC entwickelt. Diese neuronale Netzstruktur wurde für die Implementierung auf einem tragbaren Sensorgerät und den damit einhergehenden Limitierungen hinsichtlich Prozessorleistung und Speicher optimiert. Für den Trainings-, Validierungs- und Testprozess wurden inertiale Messeinheitsdaten (IMU), bestehend aus 3-Achsen Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetometer Daten, mit einer Abtastrate von 100Hz mittels einer Apple Watch Series 6 aufgenommen. Um ein breites Spektrum an Aktivitäten abzudecken, wurden Powertools aus vier Gerätegruppen - Stichsägen, Kreissägen, Schlagbohrmaschinen und Diamantbohrern zur Datenaufnahme verwendet. Als Ergebnis ist die entwickelte Netzstruktur in der Lage die gewünschte binäre Erkennung der Powertool Nutzung mit einer Erkennungsgenauigkeit von 87,2 % zu bestimmen. Die Gesamtgröße dieser Struktur inklusiver aller Parameter beträgt lediglich 497 KB. Somit ist die Realisierbarkeit dieser Technologie bestätigt, um zukünftig die genannten Aspekte der Nachhaltigkeit zu verbessern. Aufgrund der Optimierung für tragbare Sensorgeräte, kann diese Technologie in einem breiten Spektrum angewendet und erweitert werden.*

Schlüsselwörter: *Tragbare Sensorgeräte, IMU, neuronales Netzwerk, Powertool Aktivitätserkennung.*

1. EINLEITUNG

Heutzutage ist einer der wichtigsten Kernfaktoren in einem Unternehmen zum Erhalt der Marktfähigkeit die Nachhaltigkeit. Zur stetigen Steigerung der Nachhaltigkeit der Firma Hilti, sollen die Aspekte der Arbeitssicherheit und Gesundheit, sowie die Effizienz von Arbeiter auf Baustellen verbessert werden. Hierfür soll mittels Machine Learning die Realisierbarkeit einer vollständigen Powertool Aktivitätserkennung auf einem tragbaren Sensorgerätes untersucht werden.

Um dies zu erreichen, muss zunächst mittels einer State of the Art Recherche die Typologie des Machine Learning Algorithmus bestimmt werden. Hierfür muss die Hardware zur Datenaufnahme und Optimierung ausgewählt werden und ein standardisiertes Datenaufnahmeprotokoll ausgearbeitet werden. Mit diesen Mitteln müssen alle notwendigen Sensordaten der Powertool Aktivitäten aufgenommen werden.

Zur Nutzung der aufgenommenen Daten sollen alle notwendigen Skripte in Python entwickelt werden, um die Daten zu klassifizieren und aufzubereiten. Letztlich soll mittels der ausgewählten Machine Learning Typologie ein Algorithmus in Python zur binären Powertool Aktivitätsklassifizierung entwickelt werden. Dieser Algorithmus soll auf einem PC entwickelt, getestet und für die zukünftige Implementierung auf einem tragbaren Sensorgerät optimiert werden.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Ziele dieses Entwicklungsprojektes sind definiert als eine binäre Powertool Aktivitätserkennung mittels eines Machine Learning Algorithmus mit einer Genauigkeit von mehr als *85 %* und einer Gesamtgröße des Algorithmus von weniger als *500 KB* unter Berücksichtigung der Limitierungen hinsichtlich tragbarerer Sensorgeräte wie beispielsweise Smart Watches. Mit dieser Technologie soll zukünftig die Nachhaltigkeit in Bezug auf Arbeitssicherheit, Gesundheit und Effizienz von Arbeitern auf Baustellen verbessert werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Als erster Schritt ist für die Auswahl der Sensor- und Machine Learning Typologie eine State of the Art-Recherche erforderlich. Für die Erkennung von menschlichen Aktivitäten (laufen, gehen, …) mittels Machine Learning sind IMU basierte Systeme vorherrschend und werden infolgedessen für diese Projekt verwendet. Als Quelle der IMU Daten in diesem Bereich der Anwendung werden erfolgreich Smartphones und tragbare Sensorsysteme verwendet (Kaghyan and Sarukhanyan 2012). Im Gegensatz zu vielen Arbeiten, soll in diesem Projekt jedoch die Klassifizierung auf dem tragbaren Sensorgerät selbst durchgeführt werden. In Bezug auf den Algorithmus selbst sind neuronale Netze (*NN*) im Vergleich zu klassischen Machine Learning Algorithmen in der Lage bessere Ergebnisse zu erzielen (Jmal et al. 2020). Hierfür werden meist *Convolutional NN* (*CNN*) oder *Recurrent NN* (*RNN*) Architekturen verwendet. Aus diesen Gründen wird für die Umsetzung dieses Projekts ein NN als Machine Learning Algorithmus entwickelt.

Da die ausgewählte Hardware maßgeblich die Daten-aufnahme und den Optimierungsprozess beeinflusst, ist eine Beurteilung potenzieller tragbarer Sensorgeräte notwendig. Der Beurteilungsprozess umfasst hierbei vorrangig den Prozessor, den Zugang zu Rohdaten der IMU und die Implementierungsmöglichkeiten eines NN basierend auf Keras. Zur Aufnahme der Rohdaten der IMU ist eine *Apple Watch Series 6* ausgewählt worden, da mittels der vorhandenen Applikation SensorLog (App-ID: id388014573) ohne Ent-wicklungsaufwand Zugang zu den gewünschten Rohdaten mit einer Abtastrate von 100Hz gegeben ist. Aufgrund des *ARM Cortex M4F* Prozessors und dem Zugang zu den gewünschten IMU-Daten bei gleicher Abtastrate, wurde die Entwicklungs-plattform *MIKROE-2026* der Firma *MikroElektronika* als Optimierungsziel ausgewählt.

Um die Datenaufnahme zukünftig erweitern zu können, ist ein Datenaufnahmeprotokoll definiert. Es beinhaltet alle notwendigen Aspekte von der Initialisierung der *Apple Watch* und der *Nikon Z6 Kamera*, welche zur Datenkennzeichnung verwendet wird, bis hin zur Durchführung der Aktivitäten mit den jeweiligen Powertools. Um eine vielseitige Verwendung der aufgenommenen Daten zu ermöglichen, besteht jede Datenaufnahme eines Powertools aus 15 Minuten in denen sowohl die Nutzung der Powertools als auch das Nicht-Nutzen in gleichen Anteilen vor der Kamera durchgeführt wird. Um die

Datenkennzeichnung der IMU Daten zu ermöglichen, wird das Video mit 100 Bildern pro Sekunde aufgenommen.

Durch die Aufnahme der Sensordaten mit 100Hz und der Videoaufnahme mit 100 Bildern pro Sekunde, ist die Datenkennzeichnung mit Hotkeys mit einem Bild pro Sensorsample umgesetzt. Hierfür müssen die beiden Dateien jedoch zuerst synchronisiert werden. Dazu wird das Video Bild für Bild wiedergegeben und der Benutzer kann so das Startbild der Synchronisation festlegen. Sobald dieser Startpunkt festgelegt ist, wir der Zeitstempel des Bildes im Unix Standard berechnet und nach diesem Zeitstempel in der Sensordatei gesucht. Sobald ein gleicher Stempel gefunden ist, werden beide Dateien auf die gleiche Länge zurechtgeschnitten. Somit ist für jeden Sensorsample ein Bild vorhanden und der Benutzer kann mittels Hotkeys jeden Sample kennzeichnen.

Um die Daten für ein NN nutzbar zu machen, werden die gekennzeichneten Daten mit dem sogenannten *Sliding Window Approach* transformiert. Jedes *Window* besteht hierbei aus den Features als Spalten und einer festgelegten Anzahl an Samples für die Zeilen um somit einen zeitlichen Ausschnitt zu generieren. In diesem Projekt ist die Größe des *Windows* mit 25 Samples implementiert. Zusätzlich zu den neun unbearbeiteten Features des Inputs, bestehend aus den neun Achsen der IMU, werden die Inputfeatures unter anderem mit der totalen Beschleunigung, den Mittelwerten und den Standardabweichungen auf insgesamt 39 Features erweitert.

Als Folge der State of the Art-Recherche ist die NN Architektur als eine sequenzielle Kombination von *CNN* und *RNN* umgesetzt. Als *RNN* Struktur ist hierbei eine sogenannte *Gated Recurrent Unit* (Cho et al. 2014) implementiert. Zur Realisierung der binären Aktivitätsklassifizierung besteht die Output Layer aus einer *Dense* Layer mit einem einzelnen Neuron und der Sigmoid Aktivierungsfunktion. Die final entwickelte hybride NN-Architektur ist hinsichtlich der Inputfeatures, Trainingsmethode, Aktivierungsfunktionen der Neuronen in jedem Layer und der Gesamtgröße optimiert, um die Anforderung des Projekts zu erfüllen.

4. ERGEBNISSE

Mithilfe der zuvor beschriebenen Skripte und Methoden wurden insgesamt 1.546.524 Samples von 12 Powertools aufgenommen, gekennzeichnet und bearbeitet. Die final entwickelte NN-Architektur ist in Abbildung 1 dargestellt:

Number	Layer Typology	Parameters
1	1D CNN - Input Layer	40 cells, activation = ReLU
2	1D MaxPooling	padding = same
3	Dropout	dropout = 0.4 (40 %)
4	GRU	20 cells, activation = ReLU
5	Dropout	dropout = 0.4 (40 %)
6	Dense	40 cells, activation = ReLU
7	Dense	10 cells, activation = ReLU
8	Dense - Output Layer	1 cell, activation = Sigmoid

Abb. 1: Finale hybride NN-Architektur

In Bezug auf neue, unbekannte IMU Sensordaten erreicht diese NN Architektur eine binäre Powertool Aktivitätsklassifizierung mit einer Genauigkeit von 87,2 % bei einer gesamten Größe von 497 KB. Ein Auszug des Klassifizierungsoutputs dieses NN ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Wert *1* repräsentiert hierbei die Nutzung eines Powertools und *0* die Nicht-Nutzung. Wie zu sehen ist, folgt die Klassifizierung des NN (blau) wie gewünscht der tatsächlichen Aktivität (rot).

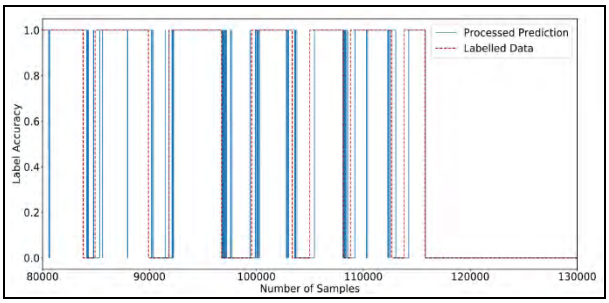


Abb. 2: Auszug des NN Klassifizierungsoutput

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit der in dieser Thesis erarbeiteten Methoden wurde die Realisierbarkeit einer binären All-in-One Powertool Aktivitätserkennung zur Verbesserung der Nachhaltigkeit basierend auf IMU Sensordaten und einem optimierten NN bewiesen. Die hierfür notwendigen Python-Skripte sind in einem modularen Ansatz entwickelt worden und stellen somit ebenfalls hilfreiche Werkzeuge für weitere Projekte und Anwendungen dar.

Eine wichtige Folgearbeit dieser Thesis ist die Erweiterung der Trainingsdaten mittels mehrerer Anwender und Powertools. In Folge der zeitlichen Limitationen, war das tatsächliche Testen des NN auf der ausgewählten *MIKROE-2026* Hardware nicht möglich. Dies stellt daher ebenfalls einen Kernaspekt der zukünftigen Arbeiten an diesem Projekt dar. Ebenfalls ist im Fall einer eigens entwickelten tragbaren Hardwarelösung oder der Entwicklung neuer und innovativer NN Architekturen eine weitere Optimierung des NN denkbar.

6. LITERATURVERZEICHNIS

Chung, J.; Gulcehre, C.; Cho, K. & Bengio, Y., "Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling," arXiv preprint arXiv:1412.3555, 2014.

Jmal, A.; Barioul, R.; Makhlouf, A. M.; Fakhfakh, A. & Kanoun, O., "An embedded ann raspberry pi for inertial sensor based human activity recognition," in *International Conference on Smart Homes and Health Telematics*. Springer, 2020, pp. 375–385.

Kaghyan, S. & Sarukhanyan, H., "Activity recognition using k-nearest neighbor algorithm on smartphone with tri-axial accelerometer," *International Journal of Informatics Models and Analysis (IJIMA), ITHEA International Scientific Society, Bulgaria*, vol. 1, 2012, pp. 146–156.

AUTOR

Florian Reiß, M.Sc.
Management Center Innsbruck, Maximilianstraße 2, 6020 Innsbruck, +49 171 4701872, florian.reiss@t-online.de

Nach seinem Abschluss als B.Eng. in Mechatronik mit der Zusatzqualifikation in Aeronutical Engineering an der Hochschule Karlsruhe mit der Bachelorthesis in Kooperation mit der Lufthansa Technik AG in Hamburg hat Herr Reiß am Management Center in Innsbruck das Masterstudium in Mechatronics & Smart Technologies erfolgreich mit seiner Masterthesis in Kooperation mit der Hilti AG in Liechtenstein im Jahr 2021 abgeschlossen.

MCI MANAGMENT CENTER INNSBRUCK: DESIGN OF A WIDE INPUT VOLTAGE RANGE AUXILIARY POWER SUPPLY FOR PV PANELS

Plattner, D.

Abstract: *The present paper presents the development of a high efficiency DCDC converter for wide input voltage ranges of 10:1 to supply auxiliary devices like data-loggers directly from the PV panel. Depending on irradiation, the voltage of the PV panel may vary widely. Therefore in order to achieve a high and constant efficiency all over the working range a hybrid connection of standard DCDC converters is used in combination with resonant zero voltage switching, active clamping and synchronous rectification. The hybrid connection is realized by a cascaded connection of boost and flyback converter to optimize the operating point of the flyback converter. Furthermore, the design is realized to be compliant to European EMI standards.*
Keywords: *PV converter, active clamp, resonant hybrid converter, highest efficiency*

1. INTRODUCTION

Years ago, power converters were realized with the focus on functionality. Nowadays the importance of the converters efficiency and power density is raising because losses and size should be minimized to safe costs and reduce heat dissipation. To deal with the wide input voltage range state of the art flyback converter are not a suitable topology, because they drop down in efficiency at low input voltages. Therefor a hybrid resonant converter consisting of a boost and flyback converter in series connection is used (Huber L. et al. 2018). The specifications of the converter are given by the company EURAC, which are chosen to supply a datalogger. Therefor a 5W/5V/1A output at a 4-40V input converter, per PV panel, is needed. Furthermore, safety features, like galvanic isolation and an input fuse in combination with an input filter must be implemented to reach industrial standards and pass CISPR-B EMI standards. A reference design of such a converter with different specification is discussed and named PMP30720 from TEXAS INSTRUMENTS.

2. PROBLEM AND TASK DEFINITION

Photovoltaic panels are providing energy in a very dynamic way, depending on the power and angle of the sunbeams according to the regarding PV panels. This effect leads to high differences at the PV panels output and therefore also at the power converter input, which leads to a factor of 1 to 10 for the converters input voltage. Standard converters always have an operating point, so they are working efficient at a defined input voltage and less efficient above or beyond this point. This leads to a design, which provides high efficiency on all the input voltage range. Furthermore, the control of the converter is not able to work at voltages below 10V, so a specific start up circuit is designed.

3. MATERIALS AND METHODES

The boost (TLE8386) and flyback (UCC28780) converters are designed as given in their datasheets. The selection of the magnetic components are simulated with use of the Power Stage Designer Tool Version 4.0 from TEXAS INSTRUMENTS. Furthermore, detailed simulations are realized with LTSpice. The switching waveforms are investigated by the KEYIGHT DSOX2014A oscilloscope, the efficiency measurement is performed by two volt- and two amperemeters at the input and output of the converter and the EMI measurement is taken with the TEKBOX TBTC2 TEM cell, TEKBOX 5µH LISN devices and the KEYSIGHT N9010B spectrum analyzer.

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION

Figure (Fig. 1) shows the overall used parts and their connections to realize the converter. The input is fed by a 4-40V input voltage, which is the output of the PV panel. This input is secured with the input fuse TPS26602RHFR and filtered with the EMI103T-RC filter to avoid EMI from 6-800MHz of 15dB attenuation due to switching transients.

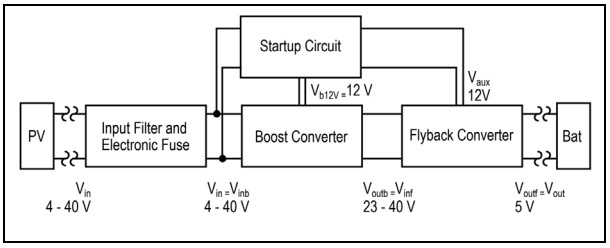


Fig. 1: Big picture of the converter

To be capable of converting power below 10V after the start up, a special circuitry is needed. Basically, this consists of one Mosfet, which connects either the input voltage of the converter or the auxiliary winding voltage of the transformer to the boost converter supply its electronics. The boost converter is realized with the Infineon controller TLE8386 (IC_{10}) and the Infineon Mosfet IRF7853 (Q_3) and can be seen in figure (Fig. 3). The input voltage is 4-22,5V and the output voltage is 23V. For higher input voltages the converter gets disabled by use of a comparator circuit.

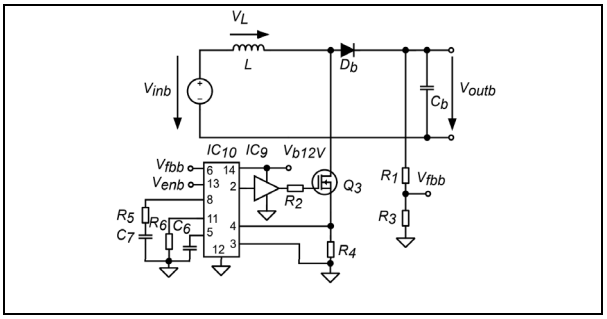


Fig. 3: Boost converter circuit

Above 23V the flyback converter works on its own. The realized schematic is shown in figure (Fig. 4) and used to transform the output voltage of the boost converter into a regulated 5V output voltage. The schematic is based on the UCC28780 from TEXAS INSTRUMENTS. Due to resonance of the leakage inductance of the transformer IC_2 and the output capacitance of the low side Mosfet in the half bridge, the converter can switch without any losses due to zero voltage switching. Furthermore, the high side Mosfet in combination

with C_{13} forms a resonant tank and is used to recycle the energy in the leakage inductance. At least benefit Q_5 is reducing further switching losses for the output rectification. The feedback network is realized with opto-electronic to perform a galvanic isolation between input and output.

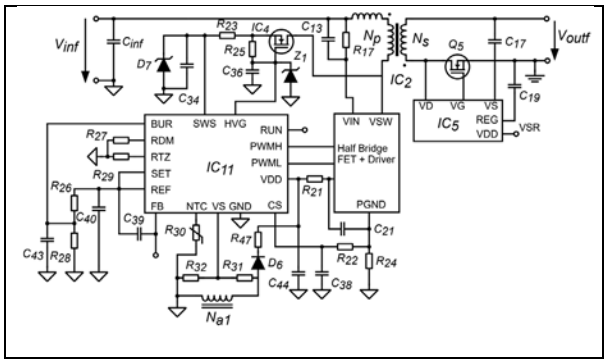


Fig. 4: Flyback converter circuit

Combining these schematic and realization on a four-layer printed circuit board (PCB) with galvanic isolation leads to the converter illustrated in figure (Fig. 5). There the converter is placed U-shaped from the input with its fuse and filter I (top left corner) to the output including secondary side of the transformer VIII (top right corner). The boost converter is placed in section II and III, the flyback converter in section V,VI,VII,VIII and the startup circuit in IV.

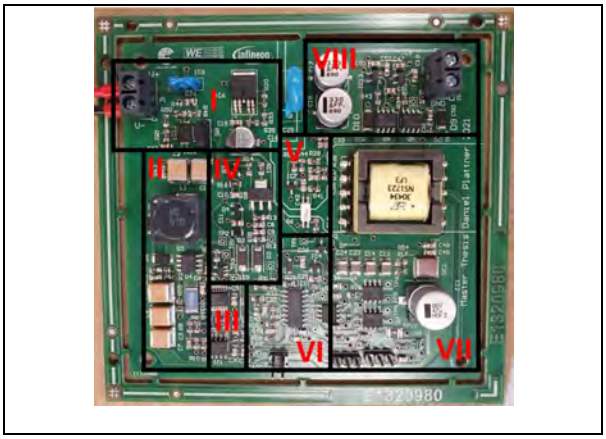


Fig. 5: PV panel hybrid resonant DCDC converter PCB

5. RESULTS

The efficiency plot is shown in figure (Fig. 6). Furthermore, two different load conditions (I_{out}=1A/0,83A) are considered. It can be noted the efficiency step increase due to the switch-off of the boost converter and leads to an efficiency higher than 90%. Furthermore it is shown that the efficiency is greater than 80% on the whole input voltage range with the exception of the very low voltages below 6 V. Radiated and conducted EMI measurements passed CISPR-B requirements and a high PCB power density is identified. The zero-voltage switching of the main power switch is achieved and is among other techniques, like active clamping and synchronous rectification, responsible for the high efficiency.

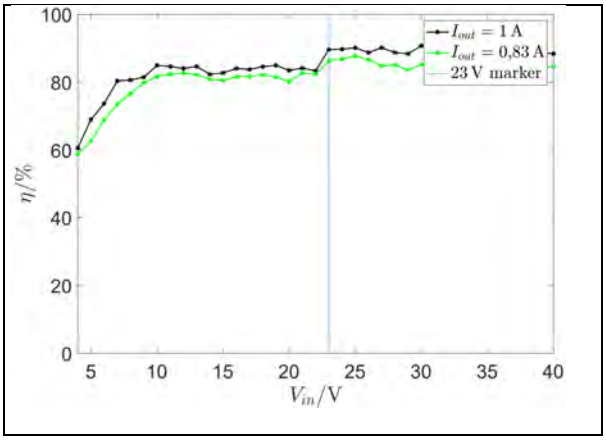


Fig. 6: Efficiency plot of DCDC converter at different input voltages and output currents

6. SUMMARY AND OUTLOOK

The key term of this paper has been the success of letting the converter work, with high efficiency, till with such low input voltages for 4V, passing EMI standards and fulfilling industrial safety features. Mainly this hybrid DCDC converter can be used to transform energy out of PV panels to supply data loggers up to 5W. Investigations have made clear that the Boost converter and startup circuit are acting like bottlenecks for the efficiency due to high auxiliary supply power at that small output power of 5W. It is demonstrated that the active clamp flyback converter is using zero voltage switching which leads to zero switching losses for the main low side switch of the flyback converter. An estimate of the cost of the proposed solution for larger quantities has been carried out resulting in 37,93€/pcs for 100 pieces instead of 146,25€ for the prototype. This would allow therefore to install the proposed power converter on PV panels in a photovoltaic farm.

7. REFERENCES

Huber, L., 2018. Flyback converter with hybrid clamp. *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (2018) page numbers (2098-2103)

AUTOR

Daniel Plattner, BSc, MSc

MCI Mechatronik, Maximilianstaße 2, 6020 Innsbruck, +4367761443080, pd2508@mci4me.at
(9 pt)
Graduated MSc in engineering and project assistance at the Save Aviation Tyrol project, working on a 12-phase high-power drone motor.

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Einreichungen
ABSOLVENT:INNENKARRIERE

FH CAMPUS 02 GRAZ: BEWERBUNG IN DER KATEGORIE PRÄMIERUNG BESTE ALUMNI KARRIERE DIPL.-ING. STEFAN KNÖBL, BSC

1. BERUFLICHER WERDEGANG

Meine berufliche Laufbahn nahm ungewöhnlich früh ihren Weg. Zu Beginn der 4. Klasse Hauptschule hatte ich die Möglichkeit als Schnupperlehrling für zwei Tage einen Betrieb zu besuchen. Schon damals faszinierte mich die Arbeit mit Metall, vor allem das Schweißen mit dem blauen Lichtbogen hatte es mir angetan. Mein Vater organisierte mir deshalb meinen Schnuppertermin bei Maschinenbau Brunner. Dort angekommen durfte ich im Betrieb mithelfen und bekam einen guten Einblick in den Maschinenbau. Mein Wissensdrang war enorm, das bemerkte auch Herr Anton Brunner, der mir, obwohl er nie vor hatte Lehrlinge auszubilden, am Ende des Schnuppertermins eine Lehrstelle anbot. Die Pläne meiner Mutter eine höhere Schule zu besuchen, platzten vorerst. Für mich war die Lehre gesichert, ich hatte nur ein Problem: Ich musste noch zwei Jahre zur Schule gehen.

Nach der Polytechnischen Schule durfte ich 2005 als erster Lehrling bei Maschinenbau Brunner meine Karriere starten. Ich begann in der Fertigung, wo wir Sondermaschinen von Grund auf herstellten und zusammenbauten. Damals kamen die Fertigungspläne von Herrn Brunner, der die Zeichnungen und Skizzen der Maschinen per Hand erstellte. Im Selbststudium lernte ich zuerst mit AutoCAD und anschließend mit Solid Works zu konstruieren. So konnte ich schon zu Beginn meiner Lehrzeit erste Teile und Maschinen in CAD-Programmen zeichnen. Aus Neugierde erkundigte ich mich im 2. Lehrjahr welche Fortbildungsmöglichkeiten es in meinem Beruf gibt und fand eine Werkmeisterausbildung für Maschinenbau und Automatisierungstechnik am WIFI Neunkirchen. Als einer der jüngsten Werkmeister habe ich die Ausbildung unmittelbar nach meiner Gesellenprüfung abgeschlossen. Zeitgleich entwickelten wir im Rahmen eines Forschungsprojekts eines unserer Kunden eine Sondermaschine im Wert von 1,2 Mio. €, die zum Großteil von mir konstruiert wurde. Damals beschäftigte das Unternehmen sechs Personen. In meiner Lehrzeit konstruierte, fertigte und montierte ich die Maschinen und Anlagen beim Kunden.

Mein Wissensdrang wollte nicht enden, somit absolvierte ich während des Präsenzdienstes die Studienberechtigungsprüfung an der FH Pinkafeld, um 2010 das Studium an der FH Campus 02 beginnen zu können. Ergänzend zu meinen Kenntnissen aus dem Maschinenbau konzentrierte ich mich wären des Studiums auf die Bereiche Elektrotechnik, Informatik, Softwareentwicklung und Regelungstechnik. Das neu erlernte Wissen setze ich im Beruf in die Tat um. Unsere Maschinen wurden zunehmend mit Elektro- und Steuerungstechnik ausgestattet. Meine Diplomarbeiten waren stets Teil von Kundenprojekten, die von den wissenschaftlichen Arbeiten profitierten. So entwickelte Maschinenbau Brunner eine komplette Fertigungsstraße für die Herstellung eines neuartigen Dämmmaterials. Meine Masterarbeit war Teil dieses Projekts, wobei für die Anlage ein überbordetes Leitsystem realisiert wurde. Wir unterstützten unseren Kunden dabei dieses neuartige Produkt kennen zu lernen und dieses vollautomatisiert herzustellen. Maschinenbau Brunner konnte zum Maschinenbau nun auch die Automatisierungstechnik anbieten und schlüsselfertige Sondermaschinen aus einer Hand liefern.

Im Februar 2015 schloss ich die Ausbildung an der FH Campus 02 ab. Zeitgleich erwarben wir ein neues Firmengebäude in Wolfau. Mit August des Jahres ging Herr Anton Brunner in Pension und verkaufte mir 100% der Maschinenbau Brunner GmbH. Ich war nun Geschäftsführer und Inhaber der Firma. Aus dem guten Netzwerk des Campus 02 bekamen wir Kontakt zu einem steirisch ansässigen Automobilkonzern, den wir als treuen Kunden gewinnen konnten. Im Zuge eines Modellwechsels lieferten wir mehrere Anlagen die Fahrzeugteile zur Montagelinie transportieren. Darunter ein automatisches Karusselllager, welches die Kabelstränge eines Elektroautos und herkömmlichen Autos puffert und in richtiger Sequenz an die Montagelinie bereitstellt. Im Geschäftsjahr 2017 verdreifachten wir unseren Umsatz im Vergleich zum Vorjahr. In den Folgejahren entwickelten und produzierten wir diverse Sondermaschinen und Anlagen. Zu den Projekten zählt ein spezielles Shuttle-Lagersystem im Kosmetikbereich oder eine Robotergesteuerte Palletieranlage für Dämmstoffplatten. Ebenso entwickelten wir gemeinsam mit einem Partner ein fahrerloses Transportsystem, das unter dem Namen RAMVoS bekannt ist. Um die COVID19 Pandemie einzudämmen, produzierten wir innerhalb von fünf Tagen eine Abfüllanlage für Desinfektionsmittel.

Da mein Wissensdrang bis jetzt noch nicht erloschen ist, startete ich im Januar 2020 mit einer 2-jährigen Unternehmerausbildung in Deutschland. Zudem gründete ich im August 2020 mit meinem Schulfreund Andreas Hofer die Brunner Automation GmbH, mit der wir die Automatisierungstechnik noch weiter ausbauen werden. Insgesamt beschäftigen unsere Unternehmen 20 Personen am Standort Wolfau. Die COVID19 Pandemie haben wir gut überstanden und freuen uns auf zukünftige Herausforderungen.

Ich möchte noch erwähnen, dass mir meine Frau in jeder Situation beisteht und mich unterstützt. Wir haben zwei wunderbare Kinder, die uns wahnsinnig viel Freude bereiten. Mein privates Umfeld trägt einen wesentlichen Teil zu meinem Erfolg bei. Weiters gilt großer Dank meinem Lehrmeister Anton Brunner der mich stets gefördert und mir all dies ermöglicht hat.

Dipl.-Ing. Stefan Knöbl, BSc

Maschinenbau Brunner GmbH | Gewerbepark 2 | A-7412 Wolfau
stefan.knoebl@brunner-maschinen.at | +43 660 4706205

2005-2008 Lehre mit Werksmeisterausbildung, Maschinenbau Brunner GmbH
2008-2010 Studienberechtigung, WIFI Neunkirchen
2010-2013 Bachelorstudium FH CAMPUS 02 Graz, Automatisierungstechnik
2013-2015 Masterstudium FH CAMPUS 02 Graz, Automatisierungstechnik
seit 2015 Geschäftsführer und Inhaber Maschinenbau Brunner GmbH

FH Campus Wien: Bewerbung in der Kategorie Prämierung beste Alumni Karriere
Natalie Gemovic, MSc

Kurzfassung:

„Probleme sind da, um sie zu lösen und Veränderungen, um das Beste daraus zu machen. Die Kombination aus bestehendem Alten, erfrischend Neuem und visionärem Geist, unter Berücksichtigung der sozialen Aspekte, birgt das höchste Potenzial zu einer bestmöglichen Lösung."

Beruflicher Werdegang

Mein beruflicher Werdergang begann 2002 mit dem ausgezeichneten Matura Abschluss der HTL, Schwerpunkt Automatisierungstechnik. Im Anschluss dazu machte ich eine Spezialisierung zur Computertechnikerin. Dieses erlangte Wissen nutzte ich für die Selbstständigkeit als Computertechnikerin und EDV-Lehrerin. Es war immer ein großartiges Gefühl Wissen vermitteln zu dürfen. Meine Schüler (Kinder und Erwachsene) kamen mit unterschiedlichsten Wissensständen zu mir, waren immer mit einem Lächeln anwesend und gingen immer mit mehr Wissen und Sicherheit aus den Stunden raus.

Nach drei Jahren hatte ich die Möglichkeit als Dolmetscherin und Übersetzerin zu arbeiten. In diesem Jahr war ich bei Kampfsport-Seminaren präsent, welcher zugleich auch mein Hobby war. Mündliche und schriftliche Übersetzung von Büchern und Dokumenten, brachten mir auch den Anreiz während meiner Karenz als Ghost Writerin tätig zu sein. Die Wissensvermittlung lag und liegt mir am Herzen. Deshalb unterrichtete ich zeitgleich Kinder auf spielerische Weise in Deutsch als Zweitsprache.

Meine nächste Lebensstation brachte mich ins Lokale Radio, aber nicht vors Mikrofon, denn dafür war meine Stimme nicht geschaffen. Sondern zur Stelle als Assistenz der Geschäftsführung. In dieser Zeit beschäftigte ich mich intensiv mit Neukunden-Akquise, Marketing und unterstützte die Geschäftsführung auf organisatorischer und strategischer Ebene. Aufgrund einer Gesetzesänderung wurde das Lokale Radio geschlossen und ich zog weiter.

Es bot sich die Möglichkeit bei einem IT-Unternehmen als Vertriebsmanagerin einzusteigen. Doch meine Tätigkeiten waren weitaus vielseitiger. Neben der Mitarbeiterführung, der Großkundenbetreuung im Hard- und Softwarebereich, Einkauf und Verkauf von IT-Geräten und Zubehör und Weiterentwicklung des gesamten Geschäftsfeldes, erledigte ich auch den telefonischen Support bei technischen Gebrechen und baute die Computer zusammen. Dieser technische Aspekt bot mir einen besonderen Reiz. Ich konnte endlich wieder an etwas „schrauben".

An dieser Leidenschaft war mein Vater nicht ganz unschuldig. Als beherzter KFZ-Meister erklärte er mir gerne, und mit Herzblut, wie ein Motor, die Elektrik und Elektronik funktionieren und zusammenspielen. Vor allem, wie man einen Fehler diagnostizieren kann und welche Vorgehensweise bei Problemen am geschicktesten anzuwenden ist. Er war der strengste aller Lehrmeister. Doch er hat jedes meiner Potentiale gefördert und gefordert und dafür bin ich ihm zutiefst dankbar!

Die Affinität zur Wirtschaft und Unternehmertum habe ich von meiner Mutter. Diese war mit Mitte Zwanzig schon in der Selbständigkeit und ein Organisationstalent. Auch sie hat mir viel Wissen mitgegeben und beantwortete stets geduldig meine nicht enden wollenden Fragen!

Mich faszinierte immer die Möglichkeit die unterschiedlichen Themengebiete zu vereinen und eine Brücke zu schlagen. Aus diesem Grund begab ich mich ins Online Marketing auf selbständiger Basis. Doch mit der Zeit war mir das zu fern von der Technik.

Dies war der Moment als ich beim Unternehmen Servosan als Mechatronikerin im Kundendienst (Außendienst) engagiert wurde. Nach einer kürzeren Einschulungsphase auf die Geräte fuhr ich kreuz und quer durch halb Österreich. Die Arbeit machte mir sehr viel Spaß. Ich konnte unterschiedlichste Reparaturen durchführen, war die Schnittstelle zwischen Kunden und Büro und durfte auch neue Mitarbeiter einschulen. Als jüngste Technikerin im Unternehmen war ich darauf sehr stolz. Die Vertretung des Werkstattmeisters wurde mir übergeben, was für mich eine große Ehre war.

Während meiner Karenz grübelte ich bedenklich nach, was wohl das Beste für meine weitere Zukunft wäre. Ich entschied mich für ein technisches Studium. High Tech Manufacturing an der FH Campus Wien bot mir eine hervorragende Orientierung und Ausbildung im technischen Bereich. Dieses Studium entsprach genau dem was ich suchte. Dazu, Hand aufs Herz, gibt es hier auch ein Formula Student Team, das Os.Car Racing Team! Ein Team aus Studierenden, welches neben dem Studium einen richtigen Rennwagen baut und fährt. Ich dachte nur – WOW! Ich kann mich an mein Motivationsschreiben beim Aufnahmeverfahren erinnern und wie ich hoffte aufgenommen zu werden. Ich wollte unbedingt zu diesem Team und sei es nur um am Rande mitzuarbeiten, denn meine Zeit als Alleinerzieherin war begrenzt. Doch aus „am Rande mitarbeiten" wurde schon im ersten Jahr intensiv am Cost Report und Business Plan arbeiten. In meinem zweiten Studienjahr wurde ich Modulleiterin von Engine & Drivetrain. Es galt einen Antriebsstrang in 9 Monaten mit einer handvoll Leuten zu konzipieren, entwickeln und umzusetzen. Bei den Wettbewerben musste das Engineering Design auch vor Judges verteidigt werden, genauso wie der Cost Report und Business Plan. Für das darauffolgende Jahr bewarb ich mich für die gesamte Teamleitung. Mir wurde das Vertrauen von den Faculty Advisors entgegengebracht und ich wurde für zwei Jahre der nächste Team Captain des Os.Car Racing Teams. An dieser Stelle möchte ich mich auch namentlich bei Herrn FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heimo Sandtner, FH-Prof. Dipl.-Ing. Udo Unterweger, Sebastian Geyer, BSc MSc und Victor Klamert, BSc MSc bedanken. In der Zeit als Team Captain von knapp 45 freiwilligen Studierenden konnte ich all meine bisherigen beruflichen Erfahrung, erlangtes Wissen im Studium und individuelle Kompetenzen einsetzen. Ich führte ein

Entwicklungsunternehmen aus freiwilligen Mitarbeitern. Sie können sich vorstellen vor welch Probleme man da gestellt wird. Meistens kommen einem dann die technischen Herausforderungen als leicht lösbar vor. Solange alle mithelfen, motiviert bleiben und an einem Strang ziehen. Ich habe viele schlaflose Nächte verbracht, um zwischenmenschliche Konflikte bestmöglich vorzubeugen oder gedanklich konstruktive Konflikt- und Kritikgespräche vorzubereiten. Literatur über Körpersprache, konstruktive Gesprächsführung und Teamführung waren meine Gute Nacht Lektüre. Das Lernen für die Prüfungen musste des Öfteren zwischen Tür und Angel geschehen. Ich lernte in unterschiedlichsten Situationen: am Kinderspielplatz, neben meinem kranken Kind, nach der Gute Nacht Geschichte, im Auto während der Anreise zu einem befreundeten Team und natürlich auch in Lerngruppen. Die intensiv verbrachte Zeit mit meinem Kind schärfte meine Beobachtungsgabe, Zeitmanagement und Risikomanagement. Ich setzte diese Fähigkeiten täglich als Teamleiterin ein. Mögliche Engpässe oder Konflikte entschärfte ich, bevor sie zu ausgewachsenen Problemen werden konnten. Mein Team und ich schafften es 100 Plätze auf der Weltrangliste nach oben zu klettern. Was ein beachtlicher Erfolg ist und darauf kann jeder von uns stolz sein!

Abb. 1: *FSA 2018*

Mittlerweile haben wir 2020, mein letztes Jahr im Master Studium High Tech Manufacturing. Ich nahm mir vor, die neue Teamleitung zu coachen und ihr meine Erfahrungen und Wissen auf ihren Weg mitzugeben. Zeitgleich leitete ich das International Relations Modul des Os.Car Racing Teams, leider ein sehr unbeliebtes Modul unter Technikern, Akquise von neuen Partnern, Sponsoren und Kommunikation mit bestehenden Partnerunternehmen. Es war ein schwieriges Jahr und die Kommunikation nahm neue Formen an. Es ging weg vom persönlichen Kontakt zum virtuellen Kontakt. Auch die Lernbetreuung für die Studierenden aus dem FIT-Programm wurde umgestellt von Präsenz auf Virtuell. Ja, ich machte im letzten Jahr Master nicht „nur" beim Os.Car Racing Team und Homeschooling meines Kindes mit. Ich schrieb meine Masterarbeit und unterstützte die Gender und Diversity Abteilung operativ und mit den Lernbetreuungen, welche zu der einen oder anderen Frage- und Nachhilfestunde wurden. Auch diese Tätigkeit war mir ein Vergnügen.

Während des Master Studiums bewarben sich mein Studienkollege und ich bei der Future Work Challenge der Wiener Stadtwerke und gewannen mit unserer Idee den geteilten 1.Platz mit einem anderen Team.

Abb. 2: *Future Work Challenge 2019*

Im Jahr 2020 schloss ich auch mein Master Studium mit Auszeichnung ab. Meine Masterarbeit galt noch dem Verbrennungsmotor und der Nockenwelle.

Jetzt bin ich bei der Wien Energie GmbH in der Abteilung für Entwicklung neuer Geschäftsfelder – eMobility. Auch hier bin ich mit vollem Herzblut dabei und freue mich an Pilotprojekten, Neuentwicklungen und Optimierungen mitzuwirken, welche die Menschen umweltfreundlich mobil halten. Ich komme eben nicht ganz von der Technik und den Fahrzeugen weg.

Mein stetiger Wissensdurst, analytisches Denken, emphatisches Handeln, Organisationstalent und der Drang Erlerntes weiterzuvermitteln haben mich diesen Lebensweg beschreiten lassen. Eine gesunde Portion Ehrgeiz und Ungeduld ist auch immer dabei.

Natalie Gemovic, BSc MSc

Dieselgasse 10/3/8, 1100 Wien
natalie.gemovic@wienenergie.at / 0043 680 401 83 93

seit 2020 eMobility Services Developer Wien Energie GmbH
2019-2020 Modulleiterin International Relations Os.Car Racing Team, Lernbetreuung FH Campus Wien
2017-2019 Teamleiterin Os.Car Racing Team
2016-2017 Modulleiterin Engine & Drivetrain Os.Car Racing Team
2015-2016 Cost Report und Business Plan Os.Car Racing Team
2015-2020 Bachelor- und Masterstudium High Tech Manufacturing FH Campus Wien
2012-2015 Karenz
2010-2012 Mechatronikerin im Außendienst Servosan GmbH
2008-2010 Online Marketing
2007-2008 Vertriebsmanagerin (IT-Unternehmen)
2006-2007 Assistenz der Geschäftsführung (Lokales Radio)
2005-2006 Dolmetscherin
2002-2005 Computertechnikerin / EDV-Lehrerin

BERRFLICHER WERDEGANG MARTIN GRAZ

DI(FH) Martin Graz

1. LORÜNSER LEICHTMETALL (SCHLINS) 1996 – 1998

Nach dem Abschluss meines Studiums and der FH Dornbirn arbeitete ich zwei Jahre bei der Firma Lorünser Leichtmetall in Schlins als Leiter der Entwicklung/Konstruktion. Hauptaufgabe war die technische Leitung des kleinen Kontsruktions- und Entwicklungsteams mit Schwerpunkt in der Serienkonstruktion von Elektroarmaturen für die Hochspannungsübertragung sowie Seirollensysteme für Gondelliftanlagen.

2. OBRIST ENGINEERING GMBH (LUSTENAU) 1998 - 2012

Auf der Suche nach einer neuen Herausforderung entschied ich mich 1998 die Stelle des Technischen Leiters bei der neu gegründeten Firma Obrist Engineering GmbH anzunehmen. Der Gründer Frang Obrist war bis zu diesem Zeitpunkt als Konstruktionsleiter bei der TES Wankel in Lindau beschäftig und gründete nach der Auflösung der TES Wankel die Obrist Engineering zur Weiterführung der laufenden Entwicklungsprojekte. In den ersten Jahren lag der Schwerpunkt zum einen auf den Entwicklungsarbeiten im Bereich Luftversorung für Brensstoffzellensysteme für PWK-Anwendung (Focus lag hier auf den Systemen der NeCar Testflotte des Hauptkunden Daimler AG), zum anderen auf der Entwicklung des weltweit ersten Klimakompressors für das natürliche und umweltfreundliche Kältemittel CO2 (R744).

Über die Jahre verschob sich der Entwicklungsschwerpunkt der Obrist Engineering auf das Fahrzeugthermomanagement mit Schwerpunkt „Grüne und Umweltfreundliche Kältemittel). Zusammen mit Daimler haben wir den weltweit ersten CO2 Klimakompressor entwickelt, in einem Demonstratorfahrzeug getestet und nachgewiesen, dass CO2 als natürliches Kältemitten signifikant bessere Kühlleistung sowie einen erheblich besseren Systemwirkungsgrad (und damit geringe Kraftstoffmehrverbrauch) realisieren kann. In den folgenden Jahren haben wir unsere Aktivitäten vom Bereich der reinen Kompressorentwicklung auf die Entwicklung von CO2 Kühl- und Wärmepumpensysteme ausgeweitet. Gemeinsam mit unsren Kunden haben wir in den Folgejahren Testfahrzeuge mit CO2 Klimaanalgen konzeptioniert, aufgebaut und in Klimakammern sowie auf Testfahrten optimiert. Gemeinsam mit der AUDI AG haben wir dann 19xx das weltweit erste Fahrzeug mit CO2 Wärmepumpe konzeptioniert, aufgebaut und getestet und damit nachgewiesen, dass sowohl luftbasierte,- als auch Kühlmittelbasieret Wärmepumpen in Fahrzeugen implementiert und effizient betrieben werden können.

Bis heute hat sich die Obrist Engineering zum Weltmarktführer in der Entwicklung von mechanisch und mittlerweile auch elektrisch angetriebenen Klimakompressoren sowie Systemauslegung entwickelt. Wir haben aktuell 4 namhafte Kompressor-Hersteller für Automobilanwendung als Lizenznehmer und Fahrzeuge wie der BMW i3, i8 sowie das Daimler S-Klasse fahren heute mit Klimakompressoren die auf Obrist patenten beruhen und von Lizenznehmern in Serie gefertigt werden. In meiner Zeit bei Obrist Engineering war ich als technischer Leiter für die Entwicklung, Simulation, Aufbau der CO2 Kompressoren sowie der Entwicklung, Auslegung, Aufbau und Optimierung der CO2 Kühl,- und Wärmepumpensystem inkl. Regelung und Steuerungssystem verantwortlich. (Aus Geheimhaltungsgründen ist es mir leider nicht möglich Bilder bzw. Fotos der Komponenten zu veröffentlichen)

4. OBRIST POWERTRAIN GMBH (LUSTENAU) 2012 - AKTUELL

2012 wechselte ich Gruppenintern zur neu gegründeten Obrist Powertrain GmbH und übernahm als COO/Prokurist die gesamten Entwicklungstätigkeiten. Basierend auf den Thermomanagement-Aktivitäten der Obrist Engineering bekamen wir 2007/2008 die Möglichkeit für das Start-Up Unternehmen Fisker Automotive sowie für das schon etablierte Unternehmen Tesla Serienentwicklungsarbeiten am Fisker Karma (Seriellhybridsystem) sowie am Tesla Model Y durchzuführen. Im Zuge dieser Arbeiten wurde uns, als Unternehmen, zum ersten Mal die Dimension und das Zukunftspotential einer Elektrifizierung des PWK Sektors hinsichtlich Emissionseinsparung und Fahrkomfortzugewinn bewusst.

2011 begannen wir dann mit der eigenfinanzierten Entwicklung eines Seriellhybridsystems für den Einsatz im Massenmarkt. Hauptziel war die Darstellung eines kostengünstigen Seriellhybridsystems, im Kostenbereich eines aktuellen Dieselaggregates mit Automatikgetriebe, der Eliminierung des akuten Problems der nicht vorhandenen Ladeinfrastruktur für reine E-Fahrzeuge sowie des Problems der dramatisch reduzierten Reichweiter von reinen Elektrofahrzeugen. Zusätzlich sollte das System innerorts im Elektromodus emissionsfrei betrieben werden, außerorts im Hybridmodus mit maximaler Effizienz und elektrischem Fahrkomfort betrieben werden.

Die Erreichung der Entwicklungsziele des „HyperHybrid“ erforderten zum einen die Entwicklung eines kompakten, kostengünstigen HV Li-Ion Batteriesystems als Grundspeicher der elektrischen Energie für den E-Mode sowie zur Deckung der Leistungsspitzen und die Entwicklung eines neuartigen, kostengünstigen, kompakten und hocheffizienten Verbrennungsmotors (ZVG) zur Erzeugung der elektrischen Energie für den Hybrid-Fahrbetrieb (Abbildung 1 zeigt den „HyperHybrid Antriebsstrang mit HV-Batterie, ZVG und E-Fahrmotor)

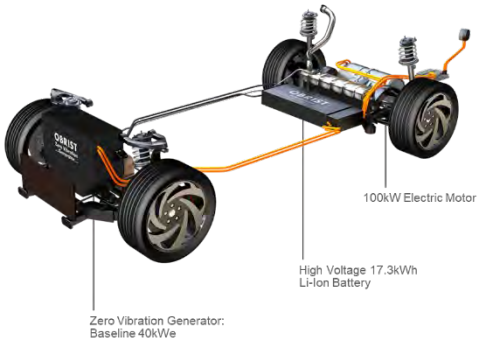


Abb. 1: HyperHybrid Antriebsstrang

Zur Versorgung des Fahrzeuges mit elektrischer Energie haben wir 2011 mit der Entwicklung des Zero Vibration Generators (ZVG) begonnen, ein Zweizylinder-Verbrennungsmotor mit gegenläufigen Kurbelwellen (synchronisiert über zwei Zahnräder) zur Eliminierung der Kräfte und Momente erster Ordnung. Zur Generierung der elektrischen Energie wurden ein Generator integriert, der über eine Übersetzungsgetriebe mit doppelter Kurbelwellendrehzahl angetrieben wird und in der Sauger-Variante 40kWe DC bei 5000rpm Motordrehzahl liefert. (Abbildung 2 zeigt den ZVG40kWe inkl. kompaktem Abgassystem und Akustikisolationsbox)

Ein neuartiges und patentrechtlich geschütztes Kompensationssystem, integriert in das Nockenwellensystem, ermöglicht die vollständige Kompensation der Kräfte und Momente zweiter Ordnung, womit der ZVG im stationären Betrieb komplett Kräfte und momentenfrei arbeiten kann. Zur Eliminierung der externen Momente im dynamischen Betrieb wurde ein Schwungrad zur Kompensation der Massenträgheitsmomente aller rotierender Komponenten im ZVG (speziell des Generators) implementiert. Damit ist es uns gelungen den weltweit einzigen Verbrennungsmotor mit komplett eliminierten Vibrationen. Der Zweizylinder-ZVG weist durch sein revolutionäres Design ein besseres NVH Verhalten auf als die aktuellen 12-Zylinder NVH Benchmarkmotoren und dies bei minimaler Komplexität und Produktionskosten. (Abbildung 3 zeigt den inneren Aufbau des ZVG mit unserer Haupt-IP)

Abb. 2: Zero Vibration Generator

Abb. 3: Interner Aufbau und IP de s ZVG

Zur Zeit wurden zwei Lizenzen des ZVG verkauft, eine an einen großen chinesischen OEM und eine Lizenz an einen namhaften Tear 1 Systemlieferant. (Aus Geheinhaltungsgründen können hier keine Namen genannt werden)

Parallel haben wir 2011 mit der Entwicklung eines kompakten, kostengünstigen und hocheffizienten HV Li-Ion Batteriesystem begonnen. Basierend auf den Entwicklungserfahrungen mit Telsa hatten wir uns zum diesem Zeitpunkt für den Einsatz von standardisierten 18650 Rundzellen entscheiden. Hauptaugenmerk in der Entwicklung des Batteriesystems lag auf der Minimierung der Herstellkosten (da das Batteriesystem generell den Preistreiber in elektrifizierten Systemen darstellt), einer maximierten Energiedichte durch ein innovatives und hochintegriertes Thermomanagement. (Abbildung 4 zeigt das finale Batteriesystem inkl. Isolation und Kühlsystem)

Abb. 4: Obrist HV - Batteriesystem

Weiters zeichnet sich die Batterie durch ein hocheffizientes Isolationssystem (basierend auf Vakuumpaneelen) was den Einsatzbereich der Batterie dramatisch erweitert und den Energiebedarf zur Konditionierung signifikant reduziert (Reichweitenvergrößerung). Damit konnten wir die weltweit erste, vollisolierte Batterie darstellen die im Vergleich alle im Markt befindlichen Batteriesysteme hinsichtlich Energiedichte übertrumpft. (Abbildung 5 zeigt den Marktvergleich hinsichtlich Energiedichte)

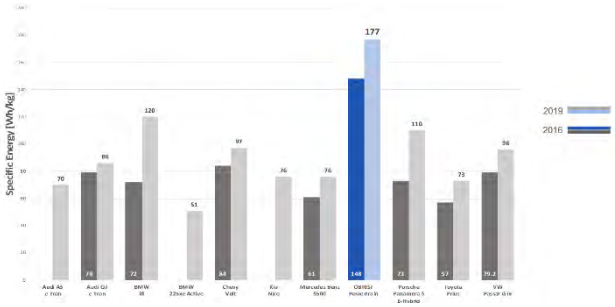


Abb. 5: Marktbenchmark Batteriesysteme

Aktuell beschäftigen wir und mit der Optimierung des System zum Einsatz von CO2 neutralen Kraftstoffen. Hier setzen wir eMethanl, hergestellt mittels Strom aus erneuerbarer Energie und CO2 aus der Umgebungsluft gewonnen, um die geringen, aber dennoch lokal vorhandenen Emissionen des HyperHybrid zu eliminieren. eMethanol ermöglicht damit eine CO2 neutralen, Rußpartikelfreien, und durch den Einsatz einen Kathalysators emissionsfreien Betrieb des HyperHybrid.

Innerhalb der Obrist Powertrain GmbH bin ich mit dem Team für die Konzeptionierung, Entwicklung, Aufbau, Testing und Optimierung der Einzelkomponenten ZVG und Batterie sowie den Aufbau und Abstimmung der Testfahrzeug zuständig. Ein weiterer Verantwortungsbereich liegt in der Entwicklung der

Hybridregelstrategien der Fahrzeuge sowie die Implementierung des Powertrain in das Fahrzeugbussystem und das Fahrzeugthermomanagement.

In meinen 23 Jahren bei der nun „Obrist Gruppe“ wuchs die Firma von einst 4 Mitarbeiten bei der Obrist Powertrain auf aktuell 45 Mitarbeiter der Obrist Gruppe, die auf Grund der „Schlanken Organisationsstruktur“ hauptsächlich im operativen Bereich tätig sind.

Im Zuge unserer Entwicklungsarbeiten konnten ich unsere Arbeiten auf renomierten Veranstaltungen wie das „Wiener Motorensymposium 2021“ dem „Aachner Motorensymposium in Peking 2019“ und diversen anderen Veranstaltungen präsentieren.
Weiters konnten wir uns als Aussteller auf der internationalen Automobilausstellung IAA in Frankfurt und nun München etablieren.

Aktuell hält die Obrist Gruppe mehr als 200 international nagemeldete Patente und hat einige Ihrer Kernpatente an insgesamt 8 international tätige Unternehmen lizenzieret.

Martin Graz
Obrist Powertrain GmbH
6890 Lustenau
Rheinstrasse 26-27
m.graz@obrist.at
+43 664 5354500

Mechatronik Plattform

FH Vorarlberg
University of Applied Sciences

Dank an die SPONSOREN

BECKHOFF

ECSEL Austria

HILTI

ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS FOR EUROPEAN LEADERSHIP – AUSTRIA

ECSEL-Austria is an industry-driven national research, development and innovation platform representing the technology areas of micro- and nanoelectronics, embedded systems and systems integration.

The ECSEL success story is based on our joint effort of working together, actively involving every single member. As a result, ECSEL-Austria was in a position to acquire above-average research funds in the EBS area. These research resources enabled the development of our eco-system.

OUR STRATEGIC GOALS/OBJECTIVES

1. strengthen the international competitiveness of Austrian companies in the European EBS funding/innovation system creating added value
2. support cooperation, focus and performance of Austrian R&D institutions and enterprises along the value-chain of EBS
3. develop inputs for the European and Austrian research programmes based on the strengths of Austrian EBS eco system
4. increase the international visibility of Austrian enterprises and R&D facilities due to leading edge technologies and solutions
5. strengthen Austrian EBS eco system as valuable partner in large collaborative European projects

If you are interested in Technology, please contact:
office@ecsel-austria.net

OUR VISION

European leadership in electronic based systems

OUR MISSION

Secure supply of key technologies and critical knowhow in the field of electronic components and systems to support innovation in all major sectors of the economy and society in Europe.

sponsored by:
Federal Ministry Republic of Austria Transport, Innovation and Technology
ECSEL Joint Undertaking

Verein ECSEL-Austria
Mariahilfer Straße 37–39
1060 Wien
T +43/1/588 39-41
F +43/1/586 69 71
W www.ecsel-austria.net

ECSEL Austria