



Konferenz der Mechatronik Plattform 2020

Tagungsband
MCI | Die Unternehmerische Hochschule[®]

Impressum

Veranstaltung:	Konferenz der Mechatronik Plattform 2020 23. November 2020
Veranstalter:	Arbeitsgemeinschaft Mechatronik Plattform MCI Studiengang Mechatronik
Veranstaltungsort:	MCI – Management Center Innsbruck Online – Live Stream Telefon: +43 (0)512/2070-3900 E-Mail: info@mci.edu Internet: www.mci.edu
Organisationskomitee:	Prof. (FH) DI Wolfgang Haindl FH-Prof. DI Dr. Mario Jungwirth DI Viktorio Malisa DI Dr. Andreas Mehrle FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Heimo Sandtner Dipl.-Ing. Dr. Burkhard Stadlmann DI Dr. Johannes Steinschaden FH-Prof. DI Dr. Udo Traussnigg FH-Prof. DI Dr. Wolfgang Werth
Herausgeber:	DI Dr. Andreas Mehrle Studiengangsleiter Bachelor Mechatronik und Master Mechatronik & Smart Technologies, MCI Die Unternehmerische Hochschule ®
Umschlaggestaltung:	Janine Kiechl, MCI Die Unternehmerische Hochschule ®

1. Auflage – Deutsche Erstveröffentlichung November 2020

Copyright: MCI – Management Center Innsbruck, Internationale Hochschule GmbH, 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, der Verbreitung, der Bearbeitung und Übersetzung, sowie jeder Form von gewerblicher Nutzung, vorbehalten.

Alle in diesem Tagungsband enthaltenen Angaben wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt kontrolliert. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Tagungsband enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Herausgeber und Department übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entstehen, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.



Ein Unternehmen
der Lebensraum
Tirol Holding





DI Dr. Andreas Mehrle

Tagungsband | Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich 2020

Inhalt

Vorwort Studiengangsleiter	2
Programm Konferenz der Mechatronik Plattform 2020	3
Vorstellung der Mechatronik Plattform	4
Mitglieder der Mechatronik Plattform	5
Nominierungen "Beste Bachelorarbeit 2020"	14
Nominierungen "Beste Masterarbeit 2020"	42
Nominierungen "Beste AbsolventInnen-Karriere"	63
Sponsoren	68

Konferenz der Mechatronik Plattform 2020

Tagungsband

Innsbruck, 23. November 2020

MCI | Die Unternehmerische Hochschule [®]

DI Dr. Andreas Mehrle

Vorwort Studiengangsleitung

Zunächst sah es so aus, als würde 2020 ein normales Jahr werden aber mit dem Frühling hat sich alles geändert. Lockdown, Social Distancing und Schließung der österreichischen Hochschulen für den Präsenzbetrieb brachten uns ein Semester wie es noch keines gab. Für Lehrende, Studierende und Administration hieß es Sonderschichten einlegen, um das Studienjahr zu einem erfolgreichen Ende zu bringen.

Auf der positiven Seite ist zu vermerken, dass es gelungen ist praktisch über Nacht den kompletten Lehrbetrieb auf eine Onlineform umzustellen, wodurch keine einzige Lehrveranstaltung im Department Mechatronik & Medizintechnik ausfallen musste. Aufgrund des hohen Anteils an Laborlehrveranstaltungen ist diese Leistung gar nicht hoch genug einzuschätzen. Auch wurden alle Jahrgänge pünktlich abgeschlossen um den Antritt zu den Studienabschlussprüfungen zu ermöglichen.

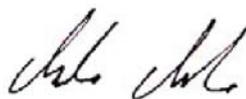
Dennoch mussten viele Kompromisse gemacht werden. Ein Labor alleine zuhause oder in einer virtuellen Form abzuhalten ist einfach nicht dasselbe - genauso wenig wie eine Onlineplattform die Jahrgangsgemeinschaft adäquat ersetzen kann oder Selbststudium die Erklärungen des Lehrenden. In Summe sind wir der Digitalisierung des Studiums einen großen Schritt nähergekommen, ohne sicher zu sein, ob dies wirklich erstrebenswert ist.

Preface by the Dean

At first it looked like 2020 would be a normal year, but with the spring everything changed. Lock-down, social distancing and the closure of the Austrian universities for attendance brought us a semester like no other before. Teachers, students and administration had to work extra shifts to bring the academic year to a successful end.

On the positive side, it should be noted that we succeeded in converting the entire teaching system to an online form practically overnight, so that not a single course in the Mechatronics & Medical Technology department had to be cancelled. Due to the high proportion of laboratory courses, this achievement cannot be overestimated. Also, all classes were completed on time to enable the students to take their final exams.

Nevertheless, many compromises had to be made. To hold a laboratory alone at home or in a virtual form is simply not the same - just as an online platform cannot adequately replace the classroom or self-study the explanations of the teacher. All in all, we have come a big step closer to the digitalization of studies without being sure whether this is really desirable.



DI Dr. Andreas Mehrle
Head of Department & Studies
MCI Management Center Innsbruck
The entrepreneurial school[®]

Konferenz der Mechatronik Plattform 2020

Mo, 23.11.2020

MCI | Die Unternehmerische Hochschule[®]

Programm

- 
- 13:00 Uhr **Eröffnung und Begrüßung**
DI Dr. Andreas Mehrle, MCI | Die Unternehmerische Hochschule[®]
- 13:15 Uhr **Vorstellung der Plattform Mechatronik**
FH Prof. DI Dr. techn. Udo Traussnigg, Fachhochschule Campus 02 Graz
- Prämierungen**
- 13:30 Uhr **Prämierung beste Bachelorarbeit**
Beckhoff Automation GmbH
Gewinner
- 14:00 Uhr **Prämierung beste Masterarbeit**
LCM Linz Center of Mechatronics
Gewinner
- 14:30 Uhr **Prämierung beste AbsolventInnenkarriere**
Standortagentur Tirol
Gewinner
- 15:00 Uhr **Schlussworte**
DI Dr. Andreas Mehrle, MCI | Die Unternehmerische Hochschule[®]

Mechatronik Plattform Österreich

www.mechatronik-plattform.at

Die Arbeitsgemeinschaft „Mechatronik Plattform“ wurde am 1.12.2005 von den Leitern der Mechatronik Studiengängen einzelner Fachhochschulen gegründet.

Sie sieht sich als strategische Verbindung und jederzeit offene Plattform für eine Kooperation in den Bereichen Ausbildung sowie Forschung und Entwicklung, auf dem Gebiet der Mechatronik.

Die Ziele der Mechatronik Plattform sind

- die Sicherung des Produktionsstandortes Österreich durch innovative mechatronische Produkte
- Erhöhung des Frauenanteils in den mechatronischen Berufen
- Förderung der Kooperation und Austausch von Studierenden, AbsolventInnen und Lehrenden
- kontinuierliche Verbesserung der Qualität in der Ausbildung
- Förderung der **wissenschaftlichen** Zusammenarbeit

Der Arbeitsgemeinschaft „Mechatronik Plattform“ gehören derzeit folgende Studiengänge an:

FH CAMPUS 02, Graz
Automatisierungstechnik | FH-Prof. DI Dr. Udo Traussnigg | campus02.at

FH CAMPUS Wien
High Tech Manufacturing | FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Heimo Sandtner | Ing. Gernot Korak,
BSc, MSc | fh-campuswien.ac.at

FH Kärnten, Villach
Systems Engineering/Systems Design | FH-Prof. DIDr. Wolfgang Werth | fh-kaernten.at

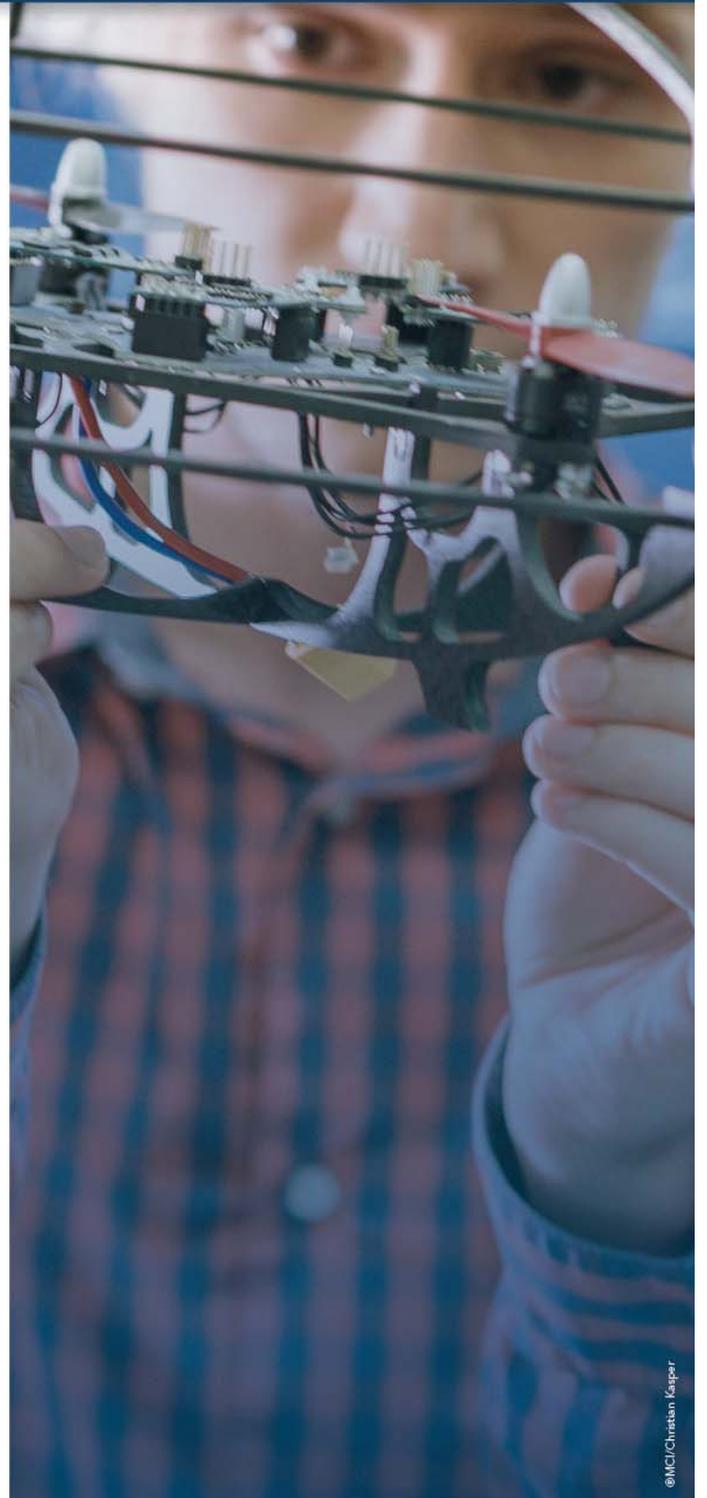
MCI Management Center Innsbruck, Innsbruck
Mechatronik | DI Dr. Andreas Mehrle | mci.edu

FH Oberösterreich, Wels
Automatisierungstechnik | Dipl.-Ing. Dr. Burkhard Stadlmann
Mechatronik/Wirtschaft | FH-Prof. DI Dr. Mario Jungwirth | fh-ooe.at

FH Vorarlberg, Dornbirn
Mechatronik | DI Dr. Johannes Steinschaden | fhv.at

FH Wiener Neustadt, Wiener Neustadt
Mechatronik/Mikrosystemtechnik | Prof. (FH) DI Wolfgang Haindl | fhwn.ac.at

Mitglieder der Mechatronik Plattform Österreich



KARRIERE? VOLLAUTOMATISCH!

- Bachelorstudiengang Automatisierungstechnik
- Bachelorstudiengang Smart Automation*
- 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. 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

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 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

Ranked #1 in Austria*

*Sources: Unversum Survey & CHE

mechatronik am mci.

Praxisorientiertes Studium mit besten Zukunftsperspektiven

Bachelorstudium Mechatronik

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

- **Studiengang Elektrotechnik**
Regelungstechnik, Leistungselektronik,
Kommunikationstechnik, Embedded Systems,
Hochfrequenztechnik, Automatisierungstechnik
- **Studiengang Maschinenbau**
Konstruktion, Robotik, Fördertechnik,
Handhabungstechnik, Werkzeugmaschinen,
Fertigungstechnik
- **Studiengang Medizintechnik**
Akustik, Robotik und Telemedizin, Finite Elemente,
minimalinvasive Verfahren, Prothetik und
Biomechanik, medizinische Grundlagen, Bild- und
Signalverarbeitung

Das MCI Management Center Innsbruck steht für qualitätsorientierte, praxisnahe und international ausgerichtete Studienangebote und akademische Weiterbildung. Gemeinsam ist jedem MCI-Studium der hohe Praxisbezug, ein optimaler Mix von internationalen Dozenten/-innen 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.

Masterstudium Mechatronics & Smart Technologies

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

Studienschwerpunkte Kernstudium

- Simulation
- Regelungstechnik
- Robotik
- Strömungsmechanik
- Management & Leadership

Studienschwerpunkte Studiengang Elektrotechnik

- Antriebssysteme
- Embedded Computing
- Transiente Simulation

Studienschwerpunkte Studiengang Maschinenbau

- Hydraulik und Pneumatik
- Mehrkörpersimulation
- Handhabungstechnik

Bilder: © Stubaier Gletscher; fotolia.com; MCI

www.mci.edu



MCI[®]
MANAGEMENT CENTER
INNSBRUCK



Automatisierungstechnik

Masterstudium, Vollzeit

Automatisierungstechnik - die Nummer eins in Österreich

Der verstärkte Einsatz der Automatisierungstechnik stellt einen wichtigen Erfolgsfaktor der österreichischen Wirtschaft dar. Nur durch fortschreitende Innovation und Automatisierungstechnik können die fertigungstechnischen Rationalisierungspotenziale 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 regelungstechnische 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 Bahnautomation, 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, Marina MARINA
FH Oberösterreich, Fakultät für
Technik und Umweltwissenschaften
Stelzhamerstrasse 23, 4600 Wels/Austria
Tel.: +43 5 0804 43012 oder 43010
Email: sekretariat.at@fh-wels.at
Inet: www.fh-ooe.at/at-ma



MECHATRONIK WIRTSCHAFT

BACHELORSTUDIUM, BERUFSBEGLEITEND

Vereinbarkeit von Studium und Beruf fördert die Karriere

Erfolgreiche Unternehmen benötigen vermehrt Wirtschaftsingenieur*innen, die technisch-wirtschaftliche Aufgaben lösen und umsetzen. Dabei ist es nicht nur wichtig, dass sie in ihrem Fachgebiet Spezialist*innen sind, sondern sie müssen, insbesondere in Führungspositionen, mit allen Bereichen im Unternehmen, sowie mit Kund*innen, Lieferant*innen und ev. auch Behörden auf Augenhöhe kommunizieren können. In diesem Studium erhalten die Studierenden die Möglichkeit, sich in einem Fachgebiet ihres Interesses weiter zu spezialisieren und gleichzeitig in vielen anderen Gebieten ein breites Überblickswissen zu erhalten.

Themen

Während des Studiums lernen die Studierenden die technischen Aspekte mechatronischer Systeme und Komponenten kennen und lernen auch, ihre zukünftigen Entscheidungen in ihren wirtschaftlichen Auswirkungen hinsichtlich Kosten, Erträge, Finanz- und Erfolgskennzahlen professionell zu beurteilen. Die Aufgabengebiete bewegen sich in technisch-wirtschaftlichen Tätigkeitsfeldern und umfassen u. a. die Bereiche Projektierung, Projekt- und Qualitätsmanagement, Entwicklung, Industrialisierung, Produktion, Marketing/Vertrieb.

- » Individuelle Tutorien für einen optimalen Studieneinstieg
- » Einführungen in Angewandte Mathematik, Mechanik, Konstruktion/CAD, Werkstoffkunde, Wärmeübertragung, Elektrotechnik, Informationstechnologie, Innovation und Marketing, Betriebs- und Produktionswirtschaft, Rechtslehre
- » Vertiefungen in Angewandte Elektronik, Mess- und Regelungstechnik, nachhaltige mechatronische Produktentwicklung, Controlling/Unternehmensführung, Projekt- und Qualitätsmanagement
- » Vertiefungszweig mechatronische Produktentwicklung: Digitale Produktentwicklung intelligenter mechatronischer Systeme, Digitaltechnik und Mikroprozessoren
- » Vertiefungszweig Produktionswirtschaft: innovative Produktionstechniken, smarte Produktionsplanung und -steuerung, SAP
- » Sozial- und Führungskompetenz, Sprachen
- » Bearbeitung von konkreten Fragestellungen aus der Arbeitsumgebung der Studierenden und Kooperationspartner
- » Wahlfächer aus dem Gesamtangebot der FH Oberösterreich

Kurzprofil

Akademischer Abschluss:

Bachelor of Science in Engineering (BSc)
(nach dem Master: Diplom-Ingenieur*in)

Studiendauer:

6 Semester (180 ECTS)

Zahl der Studienplätze je Studienjahr: 65

Zugangsvoraussetzungen:

Hochschulreife (z. B. Matura/Abitur/Berufsreifeprüfung, Studienberechtigungsprüfung/FH OÖ-Studienbefähigungslehrgang)

Bewerbung:

online bis spätestens 30. Juni,
HTL-Einsteiger*innen ins 2. Semester:
Bewerbung bis spätestens 22. Jänner
erforderlich

www.fh-ooe.at/bewerbung

Aufnahmeverfahren:

Bewerbungsgespräch

Anrechnung von Vorkenntnissen:

Anrechnung von facheinschlägigen, hochschulischen Lehrveranstaltungen möglich. Einstieg für facheinschlägige HTL-Absolvent*innen ins 2. Semester möglich.

Auslandserfahrung:

Ein Auslandssemester oder -praktikum wird unterstützt und gefördert.

Kosten:

€ 363,36 pro Semester + ÖH-Beitrag
für Studierende aus EU- und EWR-Staaten

HTL-Einstieg ins 2. Semester möglich

STUDIERN, WO DIE JOBS SIND!

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.

STUDIERN 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
- ♦ Wirtschaftsingenieurwesen

MASTER-STUDIENGÄNGE:

- ♦ Mechatronics
- ♦ Nachhaltige Energiesysteme
- ♦ Informatik

DAS MASTERSTUDIUM MECHATRONICS:

- ♦ Vollzeitstudium, 4 Semester (120 ECTS), ergänzende berufliche Tätigkeit (geringfügig) möglich
- ♦ Spezialisierung in drei von sechs Vertiefungsrichtungen: Sensor Systems and Actuators, Embedded Systems, Robotics, Computer Aided Engineering – FEM, CFD, Production Technology, Mikro- und Nanotechnologie
- ♦ Double Degree in Kooperation mit der University of Agder (Norwegen) möglich
- ♦ Einzigartiges Kontextstudium

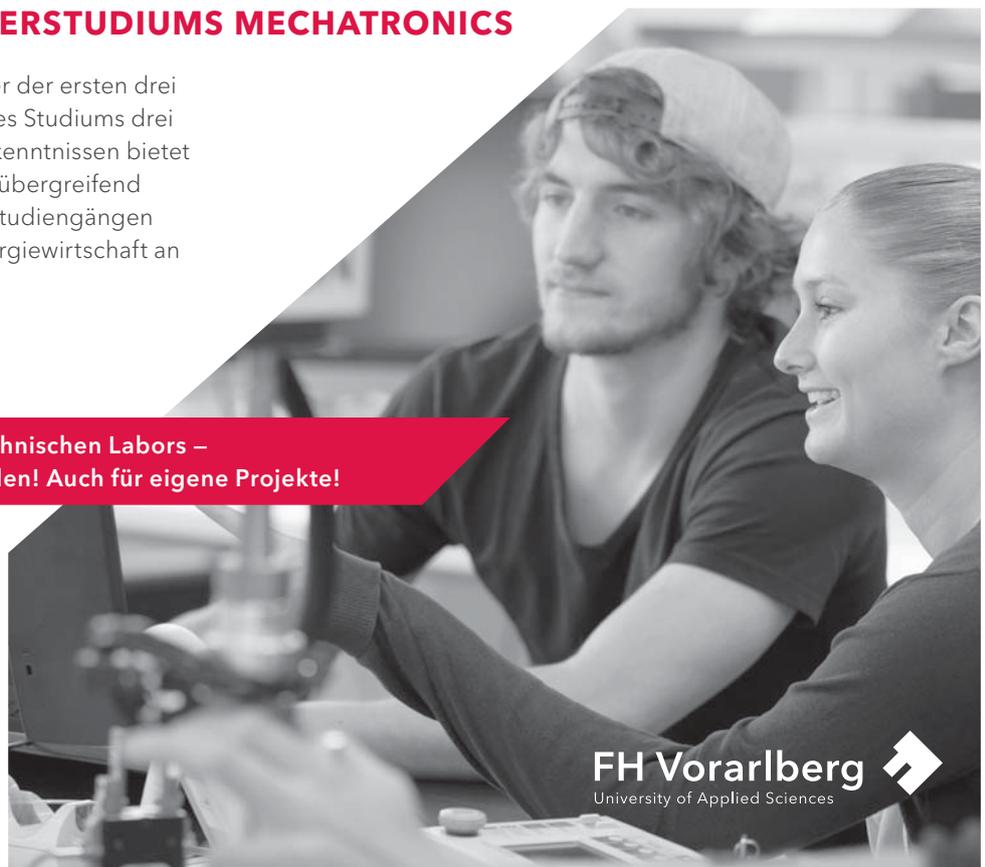
WAHLMODULE DES MASTERSTUDIUMS MECHATRONICS

Studierende legen individuell die Fächer der ersten drei Semester fest und wählen vor Beginn des Studiums drei aus fünf Spezialisierungen. Je nach Vorkenntnissen bietet sich optional die Chance, studiengangübergreifend ein Modul aus den technischen Masterstudiengängen Informatik bzw. Energietechnik und Energiewirtschaft 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





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

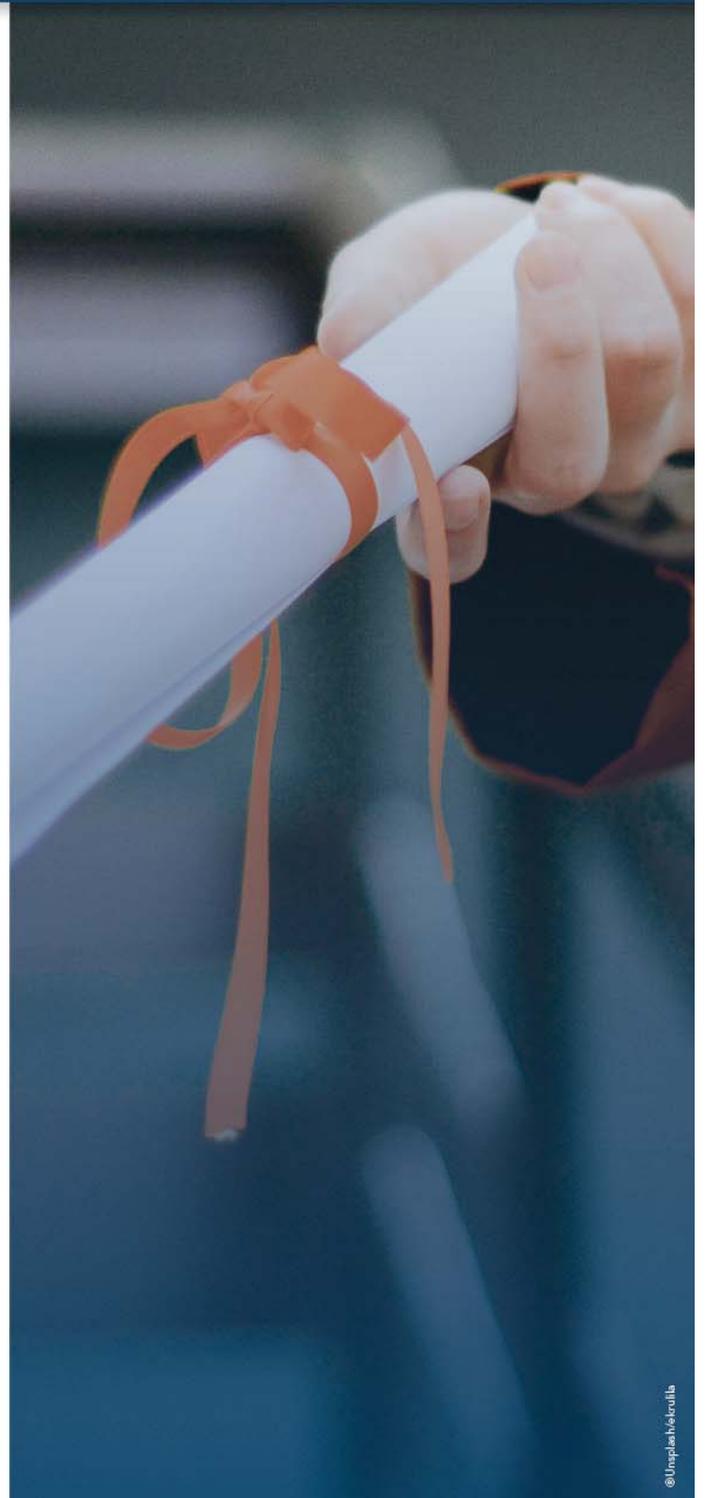
120, Organisationsform:
Berufsermöglichend



SPEZIALISIERUNGEN

Additive Manufacturing
Computational Engineering
Mechatronic Systems

Nominierungen „Beste Bachelorarbeit 2020“



MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK: DEVELOPEMENT OF A LOW-COST REHABILITATION TO IMPROVE THE DEFLECTION OF THE UPPER LIMB

Deiser, S.

Abstract: Due to COVID-19, rehabilitation sessions has been reduced or limited and recent research reports that there is a significantly association between COVID-19 and ischemic stroke. Home-based rehabilitation will play an important role to reduce a chance of the infection and increase frequency of training whereas the currently used commercial systems are mostly large and expensive and therefore only available in special practices. In this paper, a low-cost wearable training and assessment device for stroke patients is presented to train the upper extremities. The concept and the production of the prototype with the focus on the mechanical, the electrical components and the interaction of both are described. To optimize the movement of the device, a controller is designed and implemented.

Keywords: stroke rehabilitation, wearable splint with force control, training and assessment device

1. INTRODUCTION

Every year about 42.4 million people suffer from stroke worldwide [1]. It is the second leading cause of death and the third leading cause of disabilities [2]. In about 80% of the cases, the patients have permanent motor disabilities [1]. Due to that, therapeutically rehabilitation is essential. As studies found out, the sooner the rehabilitation can be started after a stroke, the better results can be achieved. It is confirmed that the intensity and repetition of the exercises show improvements of the functional outcome [3]. Currently, these rehabilitation exercises must be carried out in a rehabilitation centre or with a physiotherapist. This results in high costs, which have to be covered by insurance or by the patient. In addition, the rehabilitation exercises can only be done a few hours per week and the professional physiotherapists are not available all day. Due to that, the focus is set on a wearable exoskeleton which is easy to handle and affordable.

2. IMPLEMENTATION

2.1 Mechanical Design

During the bachelor thesis several concepts were developed and tested. The final concept is shown in Figure 2. The splint is driven by cable deflection, as can be seen in Figure 3. The cables are pulled by a servo motor mounted on the shoulder area. The force applied by the user is recognized by a load cell, which is mounted on the forearm area. The load cell is built up with four strain gauges (Wheatstone bridge). Due to a slight bending according to a force impact a voltage drop can be measured and converted into a force. With a potentiometer, the actual angle of the splint is measured.

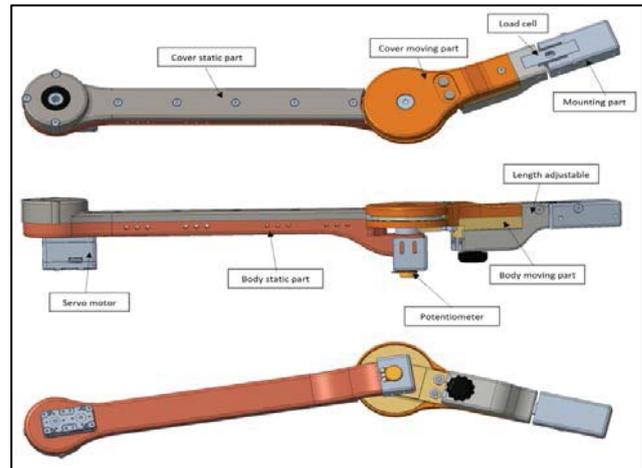


Fig. 2: Final mechanical concept

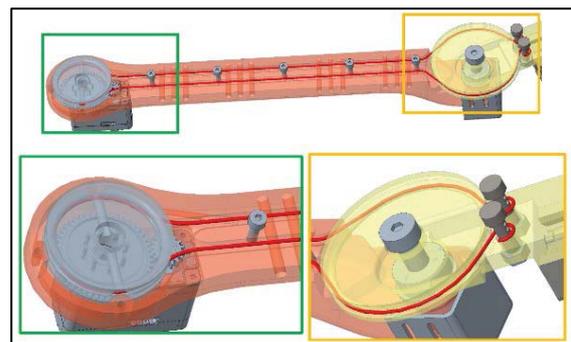


Fig. 3: Detailed cable course showing the connection points of the two cables

To select the correct servo motor, a calculation of the static forces was made. The average weight of the arm of a man was used for the calculation ($m_{arm} = 2.2 \text{ kg}$).

$$F_{arm} = m_{arm} \cdot g = 2.2 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 21.58 \text{ N} \tag{2.1}$$

$$M_I = F_a \cdot l = 21.58 \text{ N} \cdot 0.161 \text{ m} = 2.47 \text{ Nm} \tag{2.2}$$

$$F_{pull} = \frac{M_I}{R} = \frac{3.47 \text{ Nm}}{0.033 \text{ m}} = 105.3 \text{ N} \tag{2.3}$$

$$F_{cable} = F_{pull} \cdot e^{\mu_H \cdot \beta} = 105.3 \text{ N} \cdot e^{0.4 \cdot 1.22 \text{ rad}} = 160.1 \text{ N} \tag{2.4}$$

$$F_{servo} = F_{cable} \cdot e^{\mu_H \cdot \alpha} = 160.1 \text{ N} \cdot e^{0.4 \cdot 0.69 \text{ rad}} = 243.4 \text{ N} \tag{2.5}$$

$$M_s = \frac{F_{servo} \cdot r}{i_{gear}} = \frac{243.4 \text{ N} \cdot 0.012 \text{ m}}{3} = 0.97 \text{ Nm} \tag{2.6}$$

$$M_{servo} = M_s \cdot S = 0.97 \text{ Nm} \cdot 1.9 = 1.85 \text{ Nm} \tag{2.7}$$

As can be seen in Equation 2.7, the servo motor must be able to generate a torque of 1.85 Nm. The chosen motor “Lynxmotion LSS-HT1” has a torque of 2.84 Nm and is therefore able to handle the dynamic forces.

2.1 System Integration

The mechanical and electrical components are connected as shown in the following figure.

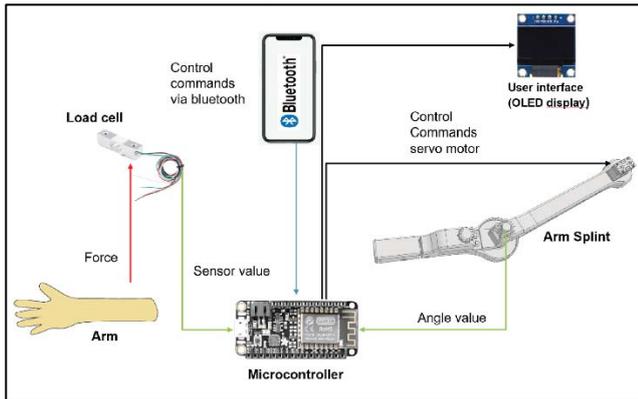


Fig. 4: System integration of the prototype

By using the smartphone app "Adafruit bluefruit LE connect" the control commands can be transmitted via Bluetooth to the microcontroller. With the app, the different therapy modes can be set. The main parameters such as the actual angle, the program mode and the actual force are shown on the OLED display.

5. MEASUREMENTS AND RESULTS

Various measurements are carried out to evaluate the control system and the servo motor. The estimations of the different program modes are shown in the next figures. In Figure 5 the manual mode where the angle can be changed in 15° steps is shown. A PID controller is designed to control the angle of the device. The dashed line indicates the desired angle, the black line the measured actual angle.

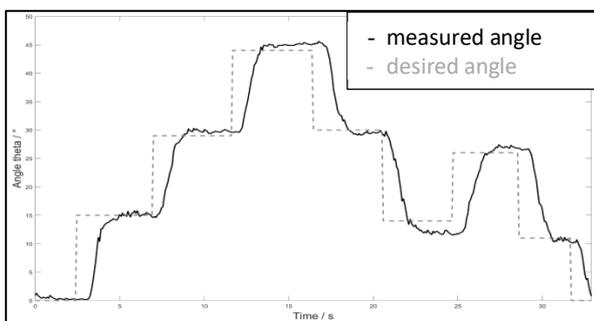


Fig. 5: Evaluation of the mode "Manual"

In the next chart the program mode "User Intention" is shown. The input signal for that mode is the force applied to the load cell. When the force crosses the dashed lines at $\pm 3\text{N}$, the splint starts to move in the desired direction.

AUTOR



Ing. Simon Deiser, B.Sc.

Management Center Innsbruck, Maximilianstraße 2, +43 678 1218 405, simondeiser@hotmail.com

Seit 2020: Masterstudium Mechatronik & Smart Technologies (Berufsbegleitend)

2020: Abschluss Bachelorstudium Mechatronik (Berufsbegleitend)

Seit 2016: Angestellter bei Thöni Industriebetriebe GmbH.

The higher the force, the faster the angular velocity of the splint gets. The black line in Figure 6 shows the applied force, the grey line the actual angle.

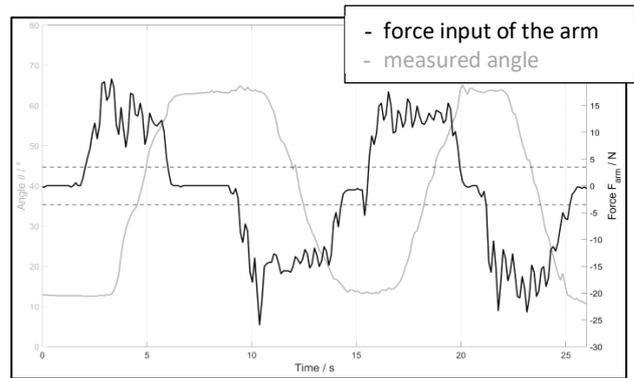


Fig. 6: Evaluation of the mode "User Intention"

The next figure shows the final concept worn by a user. The main parts are 3D-printed.



Fig. 7: Final prototype worn by a user

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

The developed prototype can serve as a basis for further research. The desired requirements could be achieved. For further projects, the splint could be combined with a so called mirror therapy. To determine the therapeutic effect, studies must be carried out with real patients.

7. BIBLIOGRAPHY

- [1] P. Maceira-Elvira, T. Popa, A.-C. Schmid, and F. C. Hummel, "Wearable technology in stroke rehabilitation: towards improved diagnosis and treatment of upper-limb motor impairment," *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 16, no. 1, p. 142, 2019.
- [2] R. Gassert and V. Dietz, "Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective," *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 15, no. 1, p. 46, 2018.
- [3] R. W. Teasell and L. Kalra, "What's new in stroke rehabilitation: back to basics," *Stroke*, vol. 36, no. 2, pp. 215–217, 2005.

**FACHHOCHSCHULE CAMPUS WIEN:
VIRTUALISIERUNG EINES RUNDTAKTTISCHES FÜR ANWENDUNGEN IN DER LEHRE**

Daniel Dräxler, BSc

Kurzfassung: Im Zuge dieser Arbeit wird eine Entwicklungsplattform für den Lehr- und Forschungsbetrieb im Bereich der Digitalisierung geschaffen. Da Entwicklungsumgebungen zur Programmierung von Automatisierungslösungen auch auf Grund bestehender Normen ähnliche Möglichkeiten bieten, wird eine möglichst universelle plattformunabhängige Nutzbarkeit der Ergebnisse angestrebt. Nachdem es in diesem Bereich viele Möglichkeiten zur digitalen Nachbildung von mechanischen Systemen gibt, wird im Zuge dieser Arbeit ein bestehendes Modell eines Rundtaktisches herangezogen, auf dessen Basis ein digitaler Zwilling entwickelt wird. Es wird darauf geachtet, dass wesentliche Funktionen, die im mechanischen Modell des Rundtaktisches vorhanden sind, auch im digitalen Zwilling zur Verfügung gestellt werden und somit optimal im Lehr- und Forschungsbereich verwendet werden können. Damit die virtualisierten Komponenten auch zukünftig für neue Modelle verwendet werden können und außerdem erweiterbar sind, wird das gesamte System möglichst modular aufgebaut, sodass die einzelnen Elemente auch mit anderen Varianten verknüpfbar sind und somit in verschiedenen Bereichen zum Einsatz kommen können.

Schlüsselwörter: Automatisierungstechnik, Digitaler Zwilling, durchgängige Digitalisierung, Virtualisierung, Visualisierung

1. Einleitung

Seit bereits einigen Jahren wird immer häufiger von einer durchgängigen Digitalisierung gesprochen und bereits in verschiedenen Bereichen intensiv umgesetzt. Dabei macht es keinen Unterschied, ob man sich sehr große Fertigungsbetriebe wie in der Automobilindustrie oder kleinere Unternehmen ansieht, da in fast allen Bereichen die Aufgaben immer komplexer werden und somit den Einsatz von digitalen Systemen verlangen. Ein sehr wichtiger Teilbereich bei der Digitalisierung, speziell von fertigungstechnischen Prozessen, ist die Erstellung von virtuellen Modellen, damit anhand dieser das reale Verhalten von Prozessen erforscht werden kann. Bei dieser Methode spricht man häufig auch von einem digitalen Zwilling. Ein wesentlicher Vorteil, der daraus resultiert ist, dass komplexe Anlagen noch vor der eigentlichen Umsetzung getestet, und die Möglichkeiten erweitert werden können. Speziell im Bereich der Steuerungstechnik bietet der Einsatz eines solchen virtuellen Systems einige Vorteile, da bereits die notwendigen Steuerungsprogramme entwickelt und auf dem digitalen Zwilling getestet werden können, ohne dass das mechanische System überhaupt existiert. Nachdem die digitalen Zwillinge meist auf den Computern der Entwickler laufen, können die meisten Arbeiten auch direkt im Büro bei einem besseren Arbeitsklima durchgeführt werden. Für die Erstellung der digitalen Zwillinge werden heutzutage die verschiedensten Softwarelösungen angeboten und verwendet. Damit es in Zukunft jedoch auch die Möglichkeit gibt, dass ein solcher digitaler Zwilling direkt auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung, als Hardware-, oder Softwareausführung, in Kombination mit einem passenden Touchpanel oder im Internet Browser betrieben werden, wurde

ein flexibel einsetzbares System erarbeitet. Der wesentliche Unterschied ist dabei, dass der digitale Zwilling und der steuerungstechnische Ablauf direkt auf einer einzelnen Steuerung betrieben, und über eine Visualisierung angezeigt und bedient wird.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung eines Systems, mit dem zum einen ein bestehendes mechanisches Modell virtuell nachgebildet werden kann, aber auch zukünftig neue digitale Zwillinge entworfen werden können. Damit ein solches System entwickelt werden kann, muss man sich zunächst damit beschäftigen, in welcher Form die Bauelemente des mechanischen Modells als virtuelles System abgebildet werden sollen. Außerdem gilt es herauszufinden, wie weit diese virtuellen Bauelemente vereinfacht werden können, sodass in der Virtualisierung alle Grundfunktionen noch genau ersichtlich und nachvollziehbar sind. Damit ein solches System auch in der Zukunft optimal verwendet werden kann, ist darauf zu achten, dass die entwickelten virtuellen Bauelemente möglichst vielseitig eingesetzt werden können, aber auch einfach um neue erweiterbar sind.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Als Basis für die Entwicklung eines digitalen Modells wurde ein bestehendes Modell eines einfachen Rundtaktisches, der einen Fertigungsprozess als Modell darstellt, herangezogen. Der virtuelle Zwilling soll auf dem Touchpanel einer Phoenix-Contact Steuerungen angezeigt, programmiert und getestet werden können. Dabei ist es sehr wichtig, dass die einzelnen Programmabläufe einfach und vollständig nachvollziehbar sind, damit mögliche Programmfehler schnell erkannt werden können. Das Gesamtkonzept lässt sich in drei Teilbereiche untergliedern die erarbeitet werden müssen, um in weiterer Folge den digitalen Rundtaktisch verwenden zu können. In der nachstehenden Abbildung (Abb. 1) ist ein schematischer Aufbau des Gesamtkonzeptes ersichtlich. Aus diesem ergeben sich drei Teilabschnitte der virtuellen Nachbildung, des Aufbaus des digitalen Rundtaktisches, sowie der Entwicklung eines Steuerungsablaufes, die im Anschluss beschrieben werden.

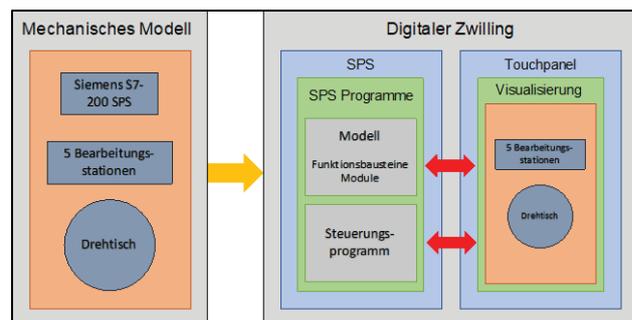


Abb. 1: Schematischer Aufbau

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Es werden nun die einzelnen Schritte beschrieben, die zur Entwicklung notwendig waren. Grundsätzlich wurden im ersten Schritt die genauen Spezifikationen des mechanischen Modells evaluiert, damit diese im Anschluss virtuell nachgebildet werden konnten. Mit diesen Bausteinen wird in einem nächsten Schritt der digitale Zwilling aufgebaut, welcher dann zuletzt in Form einer Ablaufsteuerung programmiert wird. Das Grundmodell ist so aufgebaut, dass mit Hilfe eines Drehtellers Werkstücke zu verschiedenen Bearbeitungsstationen transportiert werden. Nach einem Durchlauf durch den gesamten Prozess wird das fertige Bauteil ausgegeben. Das mechanische Modell ist sehr variabel gestaltet, sodass die einzelnen Bearbeitungsstationen beliebig angeordnet und erweitert werden können. Insgesamt können maximal acht Bearbeitungsstationen zur selben Zeit am Fertigungsprozess teilnehmen und nacheinander das zu fertigende Bauteil bearbeiten.

4.1 Virtuelle Nachbildung

Damit das mechanische Modell als virtuelle Nachbildung aufgebaut werden kann, mussten im ersten Schritt die einzelnen Bewegungsmöglichkeiten des Modells evaluiert werden. Sehr wichtig war es bei diesem Arbeitsschritt, die Arbeitsweise der einzelnen Aktoren, die für die Bewegungen zuständig waren, zu verstehen. Der Grund dafür ist, dass diese Aktoren als virtuelles Modell in der Programmiersoftware der Speicherprogrammierbaren Steuerung nachgebildet werden können. Die virtuellen Nachbildungen der einzelnen Bauelemente wurde in Funktionsbausteinen realisiert, sodass die virtuellen Bauelemente sehr einfach aufgerufen werden können. Ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung der Funktionsbausteine war die möglichst vielseitig verwendbare Funktion. Das bedeutet, dass der Funktionsbaustein möglichst individuell vom Benutzer eingestellt werden kann und somit vielseitig einsetzbar ist. Es wurden folgende Funktionsbausteine entwickelt: Pneumatikzylinder; Schrittmotor in Kombination mit einem Linearantrieb oder Drehantrieb; bürstenloser Gleichstrommotor; Pneumatikgreifer.

4.2 Digitaler Rundtakttisch

Im nächsten Schritt wird nun mit den entwickelten virtuellen Bausteinen das virtuelle Modell aufgebaut. Dazu wird der gesamte Rundtakttisch zunächst in die einzelnen Stationen unterteilt, damit das Programm übersichtlicher wird. Außerdem müssen die gesamten Eingänge und Ausgänge der bestehenden Speicherprogrammierbaren Steuerung als zusätzliche Variablen definiert werden. Das ist notwendig, da die einzelnen Komponenten nicht direkt, wie beim mechanischen Modell mit den mechanischen Eingängen verbunden werden, sondern lediglich einzelne Variablen gesetzt werden. Wichtig ist, dass hier noch keine Ablaufsteuerungen realisiert werden, sondern nur der

virtuelle Rundtakttisch aufgebaut wird. Zusätzlich zum Aufbau des Modells mit den virtuellen Nachbildungen wird in diesem Schritt auch eine Visualisierung erstellt, die dazu verwendet wird, dass die virtuellen Bewegungen der einzelnen Stationen angezeigt werden. Zusätzlich sind in der Visualisierung einige Komponenten implementiert, um Bearbeitungsprozesse zu starten oder zu stoppen.

4.3 Steuerung

Nachdem das virtualisierte Modell aufgebaut wurde, konnten im letzten Arbeitsschritt die Steuerungsprogramme ausprogrammiert werden, damit die einzelnen Stationen ihre Bewegungen ausführen. Dazu wurden die gesamten Abläufe des Modells in kleinere Funktionsbausteine unterteilt und anschließend im Hauptprogramm aufgerufen. Damit das Modell nicht nur im Automatikmodus von selbst Bauteile produzieren kann, sondern auch individuelle Prozesse ablaufen können, wurde ein zusätzlicher Handbetrieb implementiert.

5. ERGEBNISSE

Das entwickelte System besteht aktuell aus den virtualisierten Bauelementen, die für dieses Modell notwendig waren. Aus diesen Elementen können jedoch die verschiedensten digitalen Zwillinge aufgebaut und betrieben werden. Damit in Zukunft noch umfangreichere Automatisierungsaufgaben digital abgebildet werden können, ist das bestehende System sehr einfach erweiterbar. In der folgenden Abbildung (Abb. 2) sind zwei Ansichten des digitalen Zwillings ersichtlich.

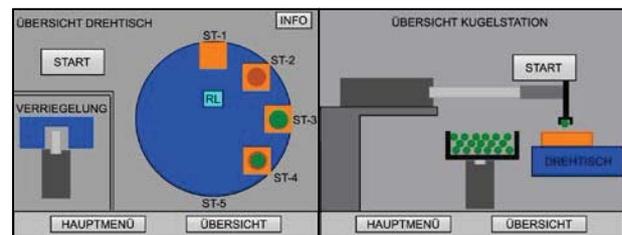


Abb. 2: Virtuelle Stationen des Rundtakttisches

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Zuge dieser Arbeit konnte eine Plattform geschaffen werden, die es möglich macht, digitale Fertigungsmodelle zu erstellen. Damit in Zukunft noch weitere digitale Zwillinge entwickelt werden können, müssen weitere virtuelle Module von unterschiedlichen Aktoren und weiteren Bauelementen entwickelt werden, damit die Möglichkeiten der Verwendung des Modells erweitert werden können. Nachdem beim mechanischen Modell, als auch beim digitalen Zwilling momentan noch drei Stationen frei sind, können in Zukunft noch zusätzliche Stationen in den aktuellen Prozess implementiert werden.

AUTOR



Daniel Dräxler, BSc

FH Campus Wien, Favoritenstraße 226 1100 Wien, 0664 9464528, daniel.draexler@stud.fh-campuswien.ac.at

Schulbildung: Seit 2020: FH Technikum Wien, Mechatronik Robotik; 2017-2020: FH Campus Wien, High Tech Manufacturing; 2011-2016: HTL St. Pölten, Elektrotechnik; 2007-2011: Realgymnasium Sacre Coeur Pressbaum; 2003-2007: private Volksschule Sacre Coeur Pressbaum. Praktika: 09-12/2019: Fa. Siemens Wien; 04-06/2017: Fa. emc elektromanagement & construction GmbH; 08/2015: Fa. EVN (Netz Nö GmbH); 08/2014: Fa. EVN (Netz Nö GmbH); 07-08/2013: Fa. Fernsehdoktor Schwarz GmbH; 08/2012: Fa. Elektro Barisits GmbH

FH KÄRNTEN: CAPACITIVE SENSORS FOR ROBOTIC GRASPING AND COLLABORATION

Fritz, G.

Abstract: *The goal of this work was to design and develop a sensor for a gripping application. This capacitive sensor will be mounted on a soft gripper and used to recognize and classify objects the robot grasped. Because of its utilization for soft gripping applications the sensor had to be stretchable and adaptive, just like the gripper itself, therefore it was manufactured using Galinstan and silicon. This paper mainly focuses on the manufacturing process and, as sensors made from these materials are not common, the possibility and difficulties of an automation of said manufacturing process.*

Keywords: *Galinstan, soft gripper, capacitive sensor, silicon*

1. INTRODUCTION

The development of automation is a prominent subject nowadays, especially in assembly and production applications. In the time we live in, humans are not able to compete with machines when it comes to manufacturing. Machines not only surpass humans in terms of precision and repeatability, but even do complicated and delicate tasks that are impossible for humans.

However, these systems are limited in their scope and range of adapting to new and unpredictable situations. The answer to this problem is collaboration between humans and robots. Collaboration is one step above simple cooperation, human and robot are not only working together on the same part at the same time in a shared work space, the robot is also responding in real time to the needs of the human worker.

For this collaboration to work perfectly, advanced sensors are needed. Generally the robot needs to know where all parts are placed, what they are made of, what the human is doing and what the worker needs or wants from the robot to be able to efficiently and safely collaborate together.

The goal of this work is to equip a soft gripper with capacitive sensors. With these sensors the robot will be able to collaborate far more efficiently, as described in the previous paragraph. By recognizing the object it is holding and perceiving its surroundings, including the human worker, the robot will be able to perform much more efficiently, more safely and, by studying and getting accustomed to its human worker, even proactively.

2. PROBLEM AND TASK

The production of stretchable sensors is different compared to commonly used sensors. All parts are elastic and the sensor has to operate while being in differently stretched states, as it will be used while being mounted on top of a robot gripper. This work focuses on the manufacturing process. The questions that need to be answered are, what the insights gained are and if a complete automated process is possible.

3. MATERIALS AND METHODS

The electronic circuits in the sensor consists of the material Galinstan and the layers in between are made from transparent silicon with a hardness of 15. The Galinstan used for this project

consisted of 68.5% Ga, 21.5% In and 10% Sn with a melting point of $-19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Galinstan was chosen because of its fluid state at room temperature ($20\text{-}22\text{ }^{\circ}\text{C}$), this enables the capacitive sensor to work even when the silicon is stretched. [1]

The MacTac 8900 Pro Matte black foil was used as a template. The Galinstan should have a minimum thickness of 0.2mm to ensure a stable connection to every part without running out of shape after removing the template. The chosen electric circuit was cut out by using a foil cutter.

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION

The capacitive sensor consists of three silicon layers and two separate circuit layers in between. These two layers, made out of Galinstan, form the capacitive sensor and the silicon serves as a protection as well as an insulation.

Silicon layers: The first step is to produce a silicon layer, later on the Galinstan layers and the remaining silicon layers will be added on top of it. The template for the Galinstan, a flat and preferably see trough surface like a glass fiber plate where the silicon can be spread on and some form of electric connection between the Galinstan circuit inside the silicon and the outside have to be prepared before fabricating the first silicon layer.

On the fiberglass plate a barrier for the silicon has to be built, this is to prevent the silicon from flowing in an unwanted place and to ensure an even thickness. The material chosen was two-sided tape, it has a thickness of 0.32mm, after several tests it was discovered that this is the thinnest height possible where it can still be secured that the silicon layer will not rip and let the Galinstan flow out.

The double-sided tape was placed on the fiberglass plate, then the silicon was mixed together, put inside the vacuum chamber at -29mbar for 30 to 40 seconds, including the preparation time. The liquid silicon is then spread on the fiberglass plate with a spatula with the double-sided tape serving as an opposition to ensure an even thickness.

The connection between the circuit inside the silicon and the outside was first established using pin header and later on with coax wires. The connectors were placed in the not yet cured silicon, after it was spread on the fiberglass. This way the connection part will be secured inside the silicon. Once it dries it will not slip away or change its position when the Galinstan and the next layers are established. To ensure the correct position of the pin header or coax wires, the template for the Galinstan circuit should be placed under the fiberglass plate, as seen in Fig. 1.

The silicon used for the sensors completely dried after 10 minutes and could be used for 2,5 minutes, after this time the silicon will start to harden and if it is not in the correct position, a clear and smooth surface is no longer possible.

After the silicon dried with the connectors in place the Galinstan circuit has to be spread. For this the foil template has to be stuck on the silicon first. At this step it is crucial to ensure that all the metal parts of the connector are on a cut-out part of the foil where the Galinstan will be spread later on, to achieve an electrically conductive connection.

Galinstan layer: It is recommended to wear gloves when working with Galinstan as it is likely for the liquid metal to stain one's hands. In order to ensure that the Galinstan is spread on only desired places, the gloves should be changed between the different steps. Galinstan in places other than the designed circuit will negatively influence the performance of the finished sensor, as it would interfere with the electric field produced by the capacitive sensor. Another reason for using gloves is that Galinstan cannot cling to the place where the silicon was touched with bare fingers because of the fat which was left behind after a touch. The pin heads and the coax wire should also not be touched in places which come in contact with the Galinstan.

After the foil template is placed on the silicon the surrounding silicon has to be covered as well, to not spread the Galinstan unintentionally. After these steps the preparations are completed and the first Galinstan layer can be applied on to the surface using a pipette. The liquid metal can be spread evenly by using a small paint roller. If too much Galinstan is used a shortcut cut can be produced and if too little is used the connection cannot be guaranteed. Therefore, a multimeter should be used to check the connections.

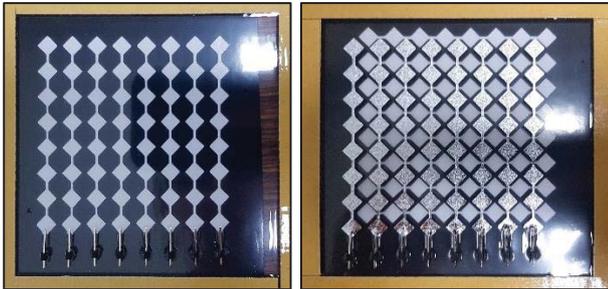


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 1: First silicon layer with embedded pinheads

Fig. 2: Preparations for the second silicon layer with the template placed under the fiberglass plate.

The crucial step at the second layer is to apply the foil template in the correct way corresponding to the first layer, to ensure the functionality of the capacitive sensor and still have connections to the outside. These two requirements are absolute so extreme caution should be applied when placing the pins or wires and the foil template. It is recommended to use the earlier explained method of placing the template under the fiberglass plate, this is still helpful even with the second layer as seen in Fig. 2.

5. RESULTS

When automating the manufacturing process described in chapter 4 several tasks must be reviewed.

Firstly, securing the connectors inside the silicon while it is drying was one of the most crucial points, as trying to add the connectors afterwards is no longer possible. This process has to be implemented in the automated manufacturing process.

GREGOR FRITZ



Gregor Fritz

FH-Kärnten, Europastraße 4, 9524 Villach, [+43 5 90500 7700](tel:+435905007700), villach@fh-kaernten.at

Gregor Fritz is a master student in Systems Design at the Carinthia University of Applied Sciences in Villach, Austria. He has a BA degree in Science and is currently working for his University as an Assistant and his work revolves around stretchable capacitive sensors for robot grasping and collaboration.

Secondly, due to the viscosity and surface tension Galinstan is not suitable to be printed and therefore has to be spread with a paint roller in the automated manufacturing process. Several different spreading methods were tried out, but the paint roller was by far the most efficient method. The usage of the paint roller requires a template, which can be stuck on the silicon and cut out while being on top of the silicon, the cut-out parts would still have to be removed by hand.

The final sensor, seen in Fig. 3, is only about one Millimeter thick. In an automated manufacturing process, the silicon has to be thicker or the pinheads must be adjusted.

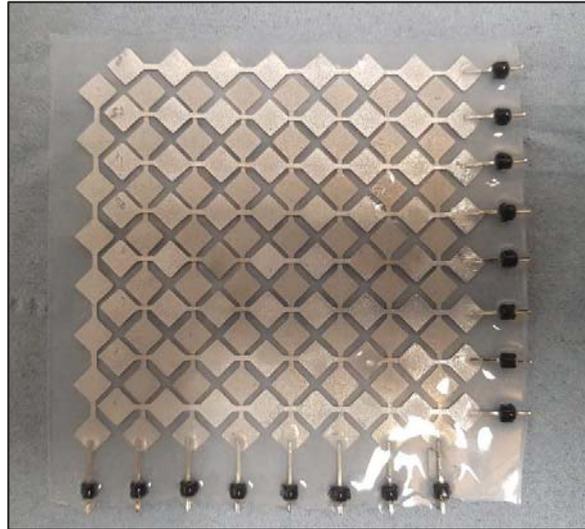


Fig. 3: Final sensor - three silicon and two Galinstan layers

6. SUMMARY AND OUTLOOK

The manual manufacturing process, as described in chapter 4, was optimized for manual production. Completely automated manufacturing would require a huge investment to develop a machine capable of all the different tasks. However, this would not be worthwhile, as only a minuscule amount of these sensors are needed currently and these sensors vary greatly in size, form and requirements.

The demand for sensors of this kind will greatly increase in the future. Machines became more intelligent every year and therefore require more information. New kind of sensors can provide this information in every environment. This kind of sensor, which is able to adapt to a surface and perceive the objects around it, will be in great demand. [2]

7. BIBLIOGRAPHY

- [1] Alt, M., Kamitz, S., Schmitt, H. and Speckbrock, G. 1995. Clinical Thermometer. Patent: EP0657023.
- [2] Aw, K., Assadian, M., Devaraj, H., Giffney, T. and Petit, A., "The Development of Highly Flexible Stretch Sensors for a Robotic Hand," *Robotics*, vol. 7, no. 3, p. 54, Sep. 2018.

FH WR. NEUSTADT: ENTWICKLUNG, MODELLIERUNG UND SIMULATION EINES ALGORITHMUS ZUR HARDWAREREDUKTION IN EINEM ELEKTRISCHEN TRAKTIONSANTRIEB MIT PSM

Knöbelreiter, L.

Kurzfassung: Ziel der Arbeit ist die Entwicklung und Analyse eines Algorithmus zur indirekten Messung eines Phasenstromfehlers in einem Traktionsantrieb mit einer permanenterregten Synchronmaschine. Durch das entwickelte Konzept soll in weiterer Folge ein Stromsensor in einem elektrischen Antriebssystem eingespart werden können. Die Untersuchung des erarbeiteten Algorithmus erfolgt über Simulation, wofür zunächst ein ideales Modell einer PSM in MATLAB Simulink aufgebaut wird. Die indirekte Messung des Phasenstromfehlers soll über die Motorspannung erfolgen. Dazu wird im nächsten Schritt ein Konzept zur Phasenstromfehlerdetektion entwickelt und ein entsprechender Algorithmus in das MATLAB Simulink Modell implementiert. Schließlich wird die Anwendbarkeit des Konzepts, durch Simulation etlicher Betriebspunkte mit unterschiedlichen Fehlerszenarien und anschließender Analyse der Ergebnisse bestimmt.

Schlüsselwörter: permanenterregte Synchronmaschine, Stromfehlerdetektion, Stromsensorreduktion, ideales Modell PSM.

1. EINLEITUNG

Aufgrund wachsender Umweltbelastung wächst die Nachfrage nach elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen stark an. In elektrischen Antriebssystemen wird neben dem Elektromotor selbst auch ein umfangreiches Regelungs- und Überwachungskonzept benötigt. Dieses gewährleistet durch korrekte Regelung und kontinuierliche Überprüfung auf Fehlerverhalten den einwandfreien Betrieb des Motors.

Für eine frühzeitige Fehlererkennung ist oftmals die Beschaffung redundanter Motorinformationen notwendig. Ein Beispiel dafür ist die Messung aller drei Phasenströme. Aufgrund physikalischer Prinzipien ist die Messung von zwei Phasenströmen ausreichend, wobei der dritte Strom über Berechnung ermittelt werden kann. Aus sicherheitstechnischen Gründen werden in der Praxis allerdings trotzdem alle drei Phasenströme mit Sensoren erfasst.

In dieser Arbeit wird ein Konzept entwickelt und untersucht, durch welches ausreichend zusätzliche Information über die Motorströme erlangt werden soll, sodass die Messung des dritten Phasenstroms und somit der dritte Stromsensors im Motor überflüssig wird.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das Überwachungskonzept eines elektrischen Antriebssystems soll durch die Implementierung eines Algorithmus optimiert werden.

Dazu ist ein Berechnungsverfahren zu entwickeln, welches eingreifen soll, sobald einer von vier Stromfehlern mit definierter Höhe auftritt. Das Verfahren muss nicht erkennen welcher Fehler die Alarmierung ausgelöst hat. Das entwickelte Konzept muss seine Anforderungen, auch jene seitens Sicherheit im Automotivbereich (ISO 26262), nur in einem wesentlichen, vorab festgelegten Drehzahlbereich erfüllen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

3.1. Beschreibendes Gleichungssystem PSM

Um das dynamische Verhalten einer PSM über ein mathematisches Modell darzustellen, müssen alle Größen (Stator- und Rotorgrößen) in einem gemeinsamen Koordinatensystem beschrieben werden. In dieser Arbeit wurde dafür das sogenannte d, q – Koordinatensystem gewählt. Dieses ist rotorfest und dreht sich mit der Winkelgeschwindigkeit ω . Außerdem wird zur einfacheren Beschreibung des Motorverhaltens bzw. der Motorgrößen und Da das Koordinatensystem mit dem Läufer mitrotiert ergeben sich die Ströme, Spannungen und Flussverkettungen als Gleichgrößen, wodurch die mathematische Beschreibung des Systems stark vereinfacht wird (Ternes & Feldkamp 2015). seiner komplexen Zusammenhänge auf die Raumzeigerdarstellung zurückgegriffen.

Die Statorspannung ergibt sich nach Transformation in das rotorfeste Koordinatensystem zu: (Ternes und Feldkamp 2015)

$$U_{d,q} = R \cdot I_{d,q} + \frac{d\Psi_{d,q}}{dt} + j \cdot \omega \cdot \Psi_{d,q} \tag{1}$$

Der erste Term beschreibt den ohmschen Spannungsabfall an den Statorwicklungen (Bassel 2008). Der zweite und dritte Term beschreibt die Spannungsinduktion in den Wicklungen, aufgrund der Amplituden- und Lageänderung des Flusses (Gintzel 2010).

In ihre d – und q – Komponenten zerlegt, ergeben sich die Flussverkettungen und daraus resultierend die Spannungen zu: (Beckert 2011)

$$\Psi_d = L_d \cdot I_d + \Psi_{PM} \tag{2}$$

$$\Psi_q = L_q \cdot I_q \tag{3}$$

$$U_d = R \cdot I_d + L_d \cdot \frac{dI_d}{dt} - \omega \cdot L_q \cdot I_q \tag{4}$$

$$U_q = R \cdot I_q + L_q \cdot \frac{dI_q}{dt} + \omega \cdot (L_d \cdot I_d + \Psi_{PM}) \tag{5}$$

Das elektromagnetisch entwickelte Drehmoment der PSM ergibt sich zu: (Beckert 2011)

$$M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\Psi_d \cdot I_q - \Psi_q \cdot I_d) \tag{6}$$

3.2. Phasenstrommessung

Bei einer Maschine ohne Nullleiter ergibt sich die Summe der drei Phasenströme zu Null (Ternes und Feldkamp 2015). Dementsprechend kann aus zwei gemessenen Strömen der Dritte genau berechnet werden.

In realen Antriebssystemen werden üblicherweise trotzdem alle 3 Phasenströme gemessen, denn reale Stromsensoren können, wenn sie beispielsweise defekt sind, Messfehler außerhalb ihrer Toleranzen aufweisen.

Ist ein Sensor defekt und gibt somit einen z. B. sehr hohen Stromwert aus, so kann über die restlichen zwei Ströme, durch die Summenbildung, verifiziert werden, ob der Stromfehler

tatsächlich im System auftritt oder nur aufgrund eines Messfehlers/Defekts gemessen wurde.

Werden nur zwei Phasenströme über Sensoren erfasst, so fällt diese Möglichkeit der Verifikation weg. Wird nun einer der beiden Sensoren defekt, so kann dies über die Summenbildung nicht mehr erkannt werden. Da der dritte Stromwert nur berechnet wird, ergibt sich die Summe der Ströme immerzu Null, auch wenn ein falscher Stromwert von einem der Sensoren ausgegeben wird.

Es kann durch das Einsparen eines Stromsensors nicht mehr überprüft werden, ob ein gemessener Stromfehler tatsächlich im System auftritt oder es sich um einen Messfehler/Sensordefekt handelt.

3.3. Konzept Algorithmus

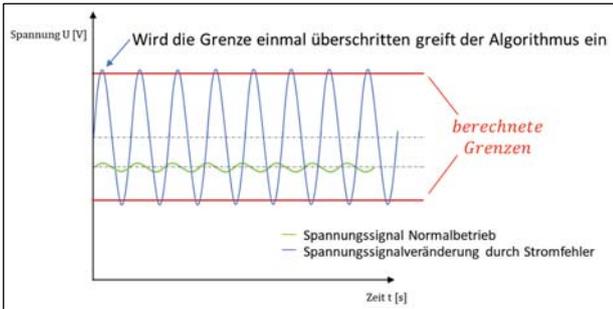


Abb.2: Graphische Darstellung des Konzepts

Es konnte beobachtet werden, dass die Motorspannungen bei auftretenden Stromfehlern gewisse, charakteristische Veränderungen aufweisen. Dieser Effekt soll genutzt werden, um zu überprüfen, ob ein gemessener Stromfehler tatsächlich im System auftritt oder nicht.

Die Idee des Konzepts ist es, dass der entwickelte Algorithmus die Spannungssignale kontinuierlich auf Veränderungen überprüft. Je nach Betriebspunkt werden bestimmte Grenzen für die Spannungssignale berechnet, welche nur dann überschritten werden, wenn einer von vier nicht zulässigen Stromfehlern auftritt. Sobald diese Begrenzungen einmal überschritten werden greift der Algorithmus ein und signalisiert damit, dass ein unzulässiger Stromwert im Motor aufgetreten ist.

Durch dieses Verfahren kann nun eindeutig identifiziert werden, ob ein gemessener Stromfehler lediglich auf einen Defekt zurückzuführen ist oder nicht. Fließt der gemessene, nicht zulässige Stromwert tatsächlich in der Phase, so wird dies durch die Alarmierung des Algorithmus verifiziert. Die redundante Information des dritten Sensors wird somit überflüssig.

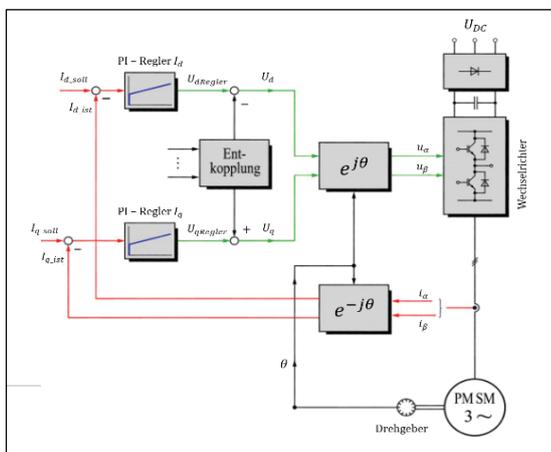


Abb.1: Strukturbild des Modellaufbaus (Beckert 2011)

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zur Analyse des entwickelten Konzepts wurde ein ideales Modell einer PSM in MATLAB Simulink aufgebaut. Dazu wurden die Gleichungen (2) – (6) herangezogen und zunächst auf die Größen I_d und I_q umgeformt. Gemeinsam mit Gleichung (6) wurde anschließend das Modell des Motors nach diesem Gleichungssystem aufgebaut. Die Regelung der Maschine erfolgt durch die Ströme I_d und I_q . Es wurde eine Stromregelung in das Modell eingebaut, welche durch die Implementierung von zwei PI-Reglern realisiert wurde.

Da die d und q Größen im Motor verkoppelt werden, ist ein Entkopplungssystem notwendig (Beckert 2011). In Abbildung 1 ist das Strukturbild des Modells ersichtlich, wobei der Wechselrichter in dieser Arbeit vernachlässigt wurde. Um ein realistischeres Modell zu erhalten, wurden zusätzlich LookUp-Tabellen für die Größen L_d, L_q, Ψ_{PM} implementiert, da diese stark von den Strömen abhängen (Gintzel 2010). Sollmoment M_{soll} und Sollzahl n_{soll} werden über die Sollströme I_{dsoll} und I_{qsoll} gesteuert/angegeben. Zur Untersuchung des Konzepts wurden zwei, nicht ideale Stromsensoren implementiert, der dritte Strom wird durch Berechnung ermittelt.

Im letzten Schritt wurde der entwickelte Algorithmus in das Modell implementiert. Für die Berechnung der Grenzen waren zunächst Daten von bestimmten Stromfehlersituationen und Betriebsfällen zu erfassen. Die benötigten Werte wurden durch Simulation unterschiedlicher Szenarien in dem bereits erstellten Motormodell generiert. Schließlich wurde der Algorithmus über eine MATLAB Funktion in das Modell eingebunden.

5. ERGEBNISSE

Zur Analyse des Algorithmus wurde eine Reihe von Betriebspunkten mit unterschiedlichen Stromfehlerszenarien simuliert und überprüft, ob das entwickelte Verfahren einen nicht zulässigen Stromfehler zuverlässig detektiert. Außerdem wurde betrachtet, ob das Konzept im Normalbetrieb keine fehlerhaften Auslöser aufweist.

Die Simulation hat gezeigt, dass der Algorithmus reliabel alle vier als fehlerhaft definierten Stromfehler detektiert. Außerdem konnte kein fehlerhaftes Alarmieren während des Normalbetriebs festgestellt werden. Es zeigte sich allerdings, dass durch die Art und Weise der Grenzberechnungen ein Puffer nicht ganz ausgenutzt wird und der Algorithmus teilweise zu früh eingreift. Außerdem wurde festgestellt, dass das entwickelte Konzept nur auf die Motorspannung U_q anwendbar ist.

Allgemein konnte das entwickelte Verfahren seine zu Beginn der Arbeit definierten Anforderungen erfüllen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Es wurde ein Konzept zu Hardwarereduktion entwickelt und in ein selbst erstelltes ideales Motormodell eingebunden. Durch Simulation konnte festgestellt werden, dass der implementierte Algorithmus seine Anforderung erfüllt.

Für den Einsatz in einem realen System und die damit verbundene Stromsensorreduktion ist eine weitergehende Analyse des Konzepts allerdings unerlässlich. Bei den in dieser Arbeit vorgenommenen Simulationen wurde nur jeweils ein Betriebspunkt angefahren und dabei auch nur der Stationärbetrieb untersucht. In der Realität muss das Konzept aber auch bei dem Durchfahren einer Reihe von Arbeitspunkten, sowie beim Anfahren eines Betriebspunkts

zuverlässig bleiben. Allgemein muss die Robustheit des Algorithmus geprüft werden, denn viele Effekte im Motor, wie etwa transiente Signale, könnten zu falschen Alarmierungen führen. Des Weiteren sind noch Verlust- und Sättigungseffekte zu berücksichtigen, welche in dieser Arbeit vernachlässigt wurden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Bassel, S., 2008. *Elektrische Antriebe mit dauermagneterregten Maschinen im dynamischen sensorlosen Betrieb*, Dissertation, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
- Beckert, U., 2011. *Modellierung und Regelung der permanenterregten Synchronmaschine*, technischer Bericht, Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Gintzel, M., 2010. *Modellierung und Simulation der Verlustwirkungskette Inverter-Motor für ein Hybrid Electric Vehicle*, Masterthesis, Fachhochschule Wiener Neustadt
- Ternes B. & Feldkamp J., 2015. *Modellbasierte Implementierung einer Vektorregelung für Synchronmaschinen*, technischer Bericht, Hochschule Bochum

AUTOR



Lisa Knöbelreiter, B.Sc.

Neunkirchnerstraße 71, 2732 Würflach, Tel.: 0680/2322216, E-Mail: lisa.knoebelreiter@hotmail.com

Geboren am 26.09.1998

Ausbildung & berufliche Tätigkeit: Volksschule Würflach

Bundes- und Bundesrealgymnasium Neunkirchen

Höhere Lehranstalt für wirtschaftliche Berufe Wr. Neust. – Abschluss: Matura

Fachhochschule Wiener Neustadt – Bachelorstudium Mechatronik

Abschluss: Bachelor of Science

Derzeitige Tätigkeit:

Masterstudium Mechatronik - Fachhochschule Wiener Neustadt

Werkstudentin - Unternehmen der Automobilindustrie

FH KÄRNTEN: DESIGN, TRAIN AND TEST A DEEP LEARNING POWERED IMAGE REGRESSION SENSOR

Laurenz Hundgeburth, BSc

Abstract: *This thesis focuses on the study and application of Deep Learning powered Computer Vision. To demonstrate the capabilities of Machine-Learning (ML) algorithms within sensor-applications, an image regression model able to predict the angular position of a servo motor shaft, given only images as the sensors input will be designed and trained. A large dataset consisting of 100.000 labelled images was necessary during training for the model to obtain its final prediction accuracy.*

Keywords: *Deep Learning, Computer Vision, Convolutional Neural Networks, Data Acquisition*

1. INTRODUCTION

This work aims to explore the feasibility and possibilities of ML models in sensor applications for control tasks. However, the focus does not lie in the concrete superiority of the chosen approach for the given problem, but rather on the research of novel ideas. It was clear from the start, that a trained vision-based ML solution could not compete with a fast, cheap and precise optical motor encoder in terms of price, performance or accuracy, but the unparalleled flexibility and general nature of ML solutions is a sought-after quality in many sensor applications that justifies the research effort.

Another factor influencing the project definition was the huge advantage the engineering background from the carinthian university of applied science brought in comparison to other data science and information technology focused faculties. Instead of having to rely on the availability of a fitting dataset or arduously having to label the acquired data manually, the data acquisition process was automated to a degree, where 10.000 images an hour could be acquired and labelled, which ultimately, in combination with a proper Convolutional Neural Network Model design, led to the success of this Deep Learning project.

2. PROBLEM FORMULATION

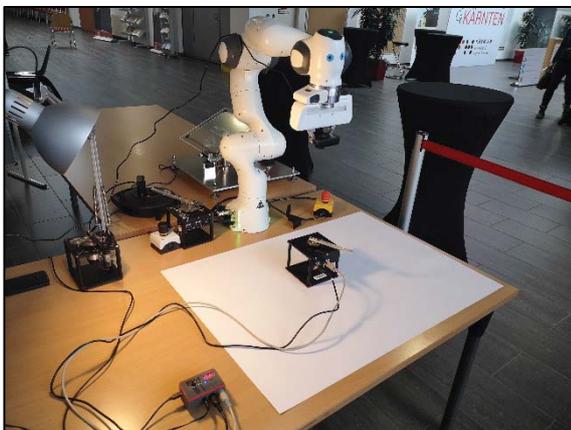


Fig. 1: Experimental Setup

The goal of the trained image regression sensor is to predict the angular position ($0 - 2\pi$ radians) of a servo motor shaft given only a top-down image ($480 * 640 * 3$ pixel) of the motor as the input of the sensor. The image size is rather big compared to popular data-sets like MNIST ($28 * 28 * 1$) (LeCun et al. 2010) or ImageNet ($256 * 256 * 3$) (Russakovsky et al. 2014). This poses a challenge in both the hardware requirements for training and inference, as well as the model architecture.

3. MATERIALS AND METHODS

The individual components have been chosen because they facilitate the data acquisition of a large data set through their fast and precise control and measurability.

The experimental setup is depicted in Figure 1. A servo motor was used as the main system under consideration. This motor is controlled by a small custom Micro Controller Unit (MCU) which provides an interface from a desktop PC to the motor hardware. The optical system of the experimental setup consists of a small PSEye Camera mounted on a Franka Emika Panda robot. This robot continuously moves the camera in a given region above the motor to make the task more challenging. The actual vision sensor this thesis is about consists of the named camera in conjunction with a deep Convolutional Neural Network (CNN) – a mathematical model making predictions based on the images provided by the camera (Y. Lecun et. al 1999). Such ML models have a huge amount of parameters (The CNN used in this work had around 200.000 parameters) compared to other mathematical models. The basic idea of Machine Learning is then to “train” such models on a given dataset through iterative minimization of the loss of the model (a measure for the performance) on the training set. The hope is then that the knowledge obtained during the training is representative enough, that the model can make good predictions on data it has not seen during training. These generalization capabilities are what makes ML models so powerful and interesting. However, the training of such a model is still a very creative process, that needs many iterations and experiments, as there is still a need to find the optimal way of training ML models.

4. TRAINING

The model training and design process took the most time and posed the steepest learning curve. A brief overview of the training process and some training and performance metrics will be given to provide a better understanding of the scope of this section of the project. Most of the utilized ML knowledge were obtained from Aurelin Geron’s fantastic book „Hands-on Machine Learning“ (A. Geron 2019).

Every training experiment started with the preparation of the training, validation and test datasets. Due to constant adjustments in the data acquisition process fueled by insights gained during the experiments, the datasets for this tasks changed quite often, but ultimately converged to a reasonably

big dataset of 100.000 (480*620) labelled images taking up about 46 GB of space. To further increase the effective amount of training data, common data augmentation strategies like scaling, brightness shifting and other image transformations were applied. After the data is prepared, an ML model needs to be defined and its parameters need to be initialised randomly. At this stage, the model yields complete random and unusable predictions. Then a loss function needs to be defined. This function of both the prediction of the model and the desired output gives an indication of how well the model performs on a given task and dataset. Because the chosen problem is a regression task, the loss function could be as simple as the Mean Absolute Error (MAE), but the experiments during this work showed that using a custom loss function consisting of the Squared Angular Difference and the Mean Squared Error yielded better results. The next step is then to use a numeric optimization algorithm like Stochastic Gradient Descent or the more sophisticated Adaptive Momentum Estimation Optimization (ADAM) algorithm (D. Kingma and J. Ba 2014) to minimize the loss over the training set. After a certain amount of training steps, the performance of the model is measured on the validation and test dataset, that contain samples not seen by the model during training. If the result is not good enough one can try many things including altering the training data, choosing a different model architecture, or change any of the small hyperparameters controlling the training in a process called hyperparameter tuning. Because often a single training run can span over hours or even days depending on the hardware, ML projects can take several months and experiments need to be carefully tracked, analyzed and planned. To put this computational effort in a concrete context: the final training was conducted over 45 epochs, which are complete runs over the entire training set. With 80.000 training images, this corresponds to 3.600.000 single training steps in which $1.16 \cdot 10^{12}$ individual pixel are processed. This training ran for about 1 day and 16.5 hours on a strong desktop PC with an NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti graphics card.

5. RESULTS

During the final training, the model converged to an MAE of 0.06 radians on the test set, which is an impressive result compared to an average human prediction accuracy of around 0.1 – 0.4 radians on the given task. The small difference between the training and validation curves in Figure 2 indicates that the model was able to generalise to new images it had not seen during training. Live tests of the trained model prediction performance under more difficult lighting conditions and with servo motor models with different front plates, shaft sizes and colours showed an MAE of approximately 0.1 - 0.2 radians, which is still a very good result and proof of the model's great capability to generalise. Even covering big sections of the motor with objects not seen during training like sheets of paper or human hands did not confuse the model significantly.

AUTOR



Laurenz Hundgeburth, BSc.
Anexia, Umlandstraße 21/H, 9500 Villach, 06649242921, laurenzbeck@gmail.com

After finishing my bachelor's degree in Systems Engineering at the Carinthian University of Applied Sciences and my internship at Glock Technology, I started to work in the Research & Development Department of Anexia. Next to my work as a software developer, I am studying Artificial Intelligence at the Johannes Kepler University in Linz.

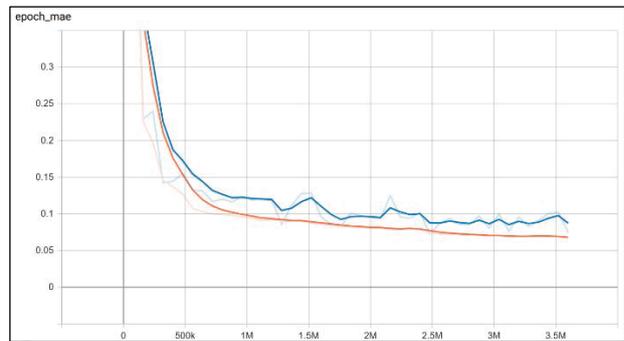


Fig. 2: Training (orange) and Validation (blue) Curves

However, it is important to mention here, that the final model had some outliers and other anomalies in its predictions, which are hard to explain due to the complex nature of the trained model.

6. CONCLUSION

This work has aimed to explore Deep Learning based solutions in Computer Vision applications. Predicting the angular position of a servo motor shaft from images has been chosen as a measurement problem. The final model and its generalization capabilities underline the potential of Neural Networks to adapt themselves to engineering-tasks which are hardly achievable with traditional methods. Due to the existence of interesting anomalies and outliers in the predictions of the model, further research in ML architectures is required to enable the use of Deep Learning powered computer vision sensors in safety and performance-critical tasks.

7. BIBLIOGRAPHY

- A. Geron, Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow : concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2019
- Y. LeCun, C. Cortes, and C. Burges, "Mnist hand-written digit database," ATT Labs [Online]. Available: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist>, vol. 2, 2010
- Y. Lecun, P. Haffner, L. Bottou, and Y. Bengio, "Object recognition with gradient-based learning," Shape, Contour and Grouping in Computer Vision Lecture Notes in Computer Science, p. 319–345, 1999.
- D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," CoRR, vol. abs/1412.6980, 2014
- O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. C. Berg, and L. Fei-Fei, "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge," International Journal of Computer Vision (IJCV), vol. 115, no. 3, pp. 211–252, 2014

FH OÖ CAMPUS WELS: REAL-TIME SEMANTIC SEGMENTATION WITH DEEP LEARNING ON EMBEDDED PLATFORMS

Mitterhuber, U.

Abstract: *Semantic segmentation is a crucial part within the perception system of autonomous robots. In recent years, many Deep Learning based semantic segmentation algorithms, which showed outstanding performances on well-studied benchmark datasets, were proposed. They have however not yet been evaluated in less studied environments such as off-road tracks while being computed on embedded platforms.*

This work's research objective was to evaluate the performance of state-of-the-art real-time Deep Learning based methods when applied to less-studied environments while being computed on an embedded platform.

To fulfill those objectives, first an extensive study of the most relevant methods was done. Following that, a method based on a Convolutional Neural Network was implemented and trained on three different datasets. Finally, extensive evaluation employing an embedded computing platform was done. Doing so, the implemented method achieved an accuracy of 81.5 % mean intersection over union on an off-road track dataset while being computed with 25.4 frames per second on the embedded platform.

Based on those results was concluded that the current state-of-the-art real-time Deep Learning based methods are capable of being applied in currently less studied environments while being computed on an embedded platform.

Keywords: *computer vision, embedded vision, deep learning, semantic segmentation, autonomous robotics*

1. INTRODUCTION

Autonomous robot systems use their perception system to obtain an understanding of their environment. Major parts of the perception system are generally constituted by Computer Vision (CV) methods one of which semantic segmentation is. Semantic segmentation aims to assign to each pixel of an input image one of a set of pre-define class labels. Thus, it is also often referred to as dense pixel labeling or pixel-wise classification.

In recent years, the field of CV was subject to major improvements, which were mainly enable by the rise of Deep Learning (DL). DL refers to Machine Learning (ML) where the model's hypothesis function is a Convolutional Neural Network (CNN) with many layers. CNNs did, amongst many other CV disciplines such as object detection, revolutionize the field of semantic segmentation. Methods based on DL achieve the highest accuracies on many benchmarks ever since they were introduced several years ago.

They come however with big computational burdens and thus were usually evaluated on powerful workstation Graphics Processing Units (GPU). The embedded platforms employed on autonomous robot systems are however not that powerful which makes an application of accuracy-focused CNN based methods impractical.

Fortunately, in the last years, many real-time focused methods were proposed as well which are promising for real-time application on embedded platforms. In this work, real-time execution is defined as being able to be computed with more than 25 frames per second (FPS).

The problem regarding those publications which this work aimed to solve is further described in next section. It was approached by first doing a literature study on the current state-of-the-art on CNN based real-time semantic segmentation methods. Following that was a state-of-the-art method implemented, trained and evaluated on three different datasets.

The novelty of this is that an implemented real-time method was trained on a less studied off-road track dataset while its evaluation was computed on an embedded platform.

2. PROBLEM DESCRIPTION

Low latency in perceiving environments of autonomous robot systems is crucial. The recently proposed real-time semantic segmentation methods were however just evaluated on urban road environments such as represented by the Cityscapes (Cordts et al. 2015) and CamVid (Brostow et al. 2009) datasets. Their performance in other less studied environments such as off-road tracks represented by the Freiburg Forest dataset (Valada et al. 2016) has not yet been evaluated.

To close that gap, the following research question was derived: Can the current state-of-the-art real-time DL based semantic segmentation methods achieve high accuracy, mean Intersection over Union (mIoU) above 70%, in off-road track environments while being computed in real-time, inference speed above 25 FPS, with embedded platforms?

By closing that gap, the following contributions were made:

1. The methods ability to generalize to other environments such as off-road tracks was shown.
2. The capability of computing those methods in real-time on an embedded platform has been proved.

3. MATERIALS AND METHODS

CNNs used for semantic segmentation are quite similar to those ones used in the more famous task of image classification. In image classification, the model is fed in an RGB or grayscale input image and predicts a single output label for each given input. In semantic segmentation, however the CNNs usually are fed in RGB images and provide a predicted label map as an output. In this label map, every pixel of the input image gets assigned a label.

Training datasets for semantic segmentation are composed of input-, label-image pairs. The current CNN architectures focused on real-time computation predict with lower accuracy as the current accuracy focused ones. This accuracy gap is however getting smaller since researcher come up with better design choices continuously. It has to be noted that making the right design choices for CNNs is a non-trivial task and mostly comes down to experiences an extensive experimentation.

To decide which method to use for experimentation an extensive literature study on the relevant methods was done

first. The chosen model was then implemented, trained and evaluated on three different datasets. Two of those were the well-studied Cityscapes and CamVid dataset which both represent urban road environments. Those were chosen to validate the model implementation since common results on them are widely available. The third one was the less-studied Freiburg Forest dataset which represents off-road tracks.

For each dataset a model instance was trained over 1500 epochs using the workstation platform.

During evaluation on the embedded platform the accuracy and inference speed were determined. For accuracy, the mIoU metric was employed while inference speed was quantified by FPS.

4. PRACTICAL REALIZATION

The implemented real-time semantic segmentation model is called DABNet and was published in (Li et al. 2019). It was implemented in a way that its computation is supported by NVIDIA GPUs.

The software stack used for implementation was Python 3.6, PyTorch 1.6, CUDA 10.2 and CUDNN 8. It has to be noted that no optimization frameworks such as TensorRT have been used.

For computing training and evaluation, the following two hardware platforms were used:

- For training as well as inference speed evaluation a workstation with two NVIDIA RTX 2080 Ti GPUs was used. During training both GPUs were used to distribute the batch size while evaluation was only done on a single GPU.
- Autonomous robot systems computing platforms were represented by the NVIDIA Jetson AGX XAVIER embedded platform. It was only used for evaluation.

5. RESULTS

During training, the validation accuracy of the model instances increased faster in the beginning and started to saturate later. After 300 epochs at Freiburg Forest training, the validation accuracy started to decrease again and with that overfitting was detected.

The instances trained on the Cityscapes and CamVid datasets yielded with 70.4 % and 67.2 % mIoU respectively even better results than the original DABNet publication (Li 2019) claimed to have achieved.

More important, the instance trained on the Freiburg Forest off-road track dataset was able to achieve an accuracy of 81.5 % mIoU while being computed in real-time at 181.5 FPS on the workstation platform and 25.3 FPS on the embedded platform.

In fig. 1 qualitative results of the Freiburg Forest evaluation are shown. The output label maps, depicted right, have been color coded for visualization purposes.



Fig. 1: Segmentation results of the Freiburg Forest evaluation. Exemplary input images left with their corresponding predicted label maps right.

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

The experimental results show that DABNet was able to achieve a high accuracy and real-time inference speed by surpassing the set thresholds.

When contemplating the results, the stated research question can be confidentially answered by stating the current state-of-the-art real-time DL based semantic segmentation methods can achieve high accuracy while being computed in real-time on an embedded platform.

Given that, further hypotheses on the generalizability of DABNet can be made. One such is that the model should be able to generalize well to other environments such as industrial plants, construction sites or farmland as well.

In order to confirm the stated hypothesis, further experiments with the creation of novel datasets of currently unstudied environments are planned for future work.

7. BIBLIOGRAPHY

- Brostow, G. J., Fauqueur, J., & Cipolla, R. (2009). Semantic object classes in video: A high-definition ground truth database. *Pattern Recognition Letters*, 30(2), 88-97.
- Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., ... & Schiele, B. (2016). The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3213-3223).
- Li, G., Yun, I., Kim, J., & Kim, J. (2019). Dabnet: Depth-wise asymmetric bottleneck for real-time semantic segmentation. *arXiv preprint arXiv:1907.11357*.
- Valada, A., Oliveira, G. L., Brox, T., & Burgard, W. (2016, October). Deep multispectral semantic scene understanding of forested environments using multimodal fusion. In *International Symposium on Experimental Robotics* (pp. 465-477). Springer, Cham.

AUTHOR



Ulrich Mitterhuber

FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Roseggerstraße 15, 4600 Wels, ulrich.mitterhuber@fh-wels.at

Ulrich Mitterhuber, born 1996 in Steyr, has completed the bachelor studies program “Mechatronics and Business Management” at FH OÖ Campus Wels with distinction. He is currently working as a Research Assistant at FH OÖ R&D in the “Smart Automation and Robotics” division. His research interests are at the intersection of artificial intelligence and autonomous robot systems.

MCI: DEVELOPMENT OF A GIT GAN INTELLIGENT POWER MODULE

Stefan Moser

Abstract: On a daily basis, the amount of electric vehicles, be it cars or scooters, is increasing. The electronic components required for controlling the motors for these applications are usually installed in modules, in order to account for higher performance and better thermal behavior. The use of emerging components like Wide-bandgap gallium nitride switches in classic power modules fails due to high parasitic effects as the distance between the driver PCB and the integrated switches are considerably large. This work proposes a solution to the above outlined issues, which allows for the integration of electronic components into a single housing to form an intelligent power module.

Keywords: Gate Injection Transistor, Gallium nitride, Power Electronics Integration, Intelligent Power Module.

1. INTRODUCTION

The latest developments in the field semiconductors materials concerning Gallium Nitride (GaN) and Silicon Carbide (SiC) are available at present as discrete components. Integration into so called power modules is no yet state of the art. In addition, custom design of driver circuitry and control electronics is required. An intelligent power module comprising GaN components, control and auxiliary electronics is therefore a development of great interest at present. The proposed is therefore intended to save time in R&D as well as costs for the user and thus to control motors faster and easier.

2. OBJECTIVE

Existing power modules are based on MOSFET and IGBT technology. Modern wide bandgap (WBG) semiconductors, i.e. SiC and GaN devices, can be used at higher power levels with reduced losses (Millán et al. 2014). Existing structures in power modules cannot sufficiently exploit the advantages of WBG semiconductors like higher possible switching frequencies due to the large parasitic influences. Furthermore, the driver circuits for existing modules have to be designed by the customer, which results in additional development effort and costs. This work proposes, which integrates all components needed for the control of electric motors, so that only a speed presetting via an external communication interface (UART or voltage or PWM signal) is needed.

A system overview of the components of the intelligent power module is given in Fig. 1.

3. MATERIALS AND METHODS

The most important basis for the integration of WBG-devices is (Jørgensen et al. 2019). General information on power modules was looked up in (Wintrich et al.). For the closer study of the thermal characteristics (Griesinger 2019) as well as for the material properties the Springer handbook (Martienssen et al. 2005) was consulted. Altium Designer is used to create schematics and the layout of the printed circuit boards. FreeCAD was employed for the mechanical design.

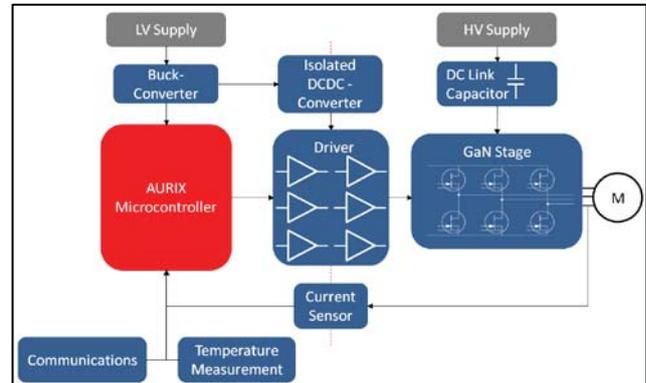


Fig. 1: Block diagram of the intelligent power module.

4. PRACTICAL IMPLEMENTATION

Power modules are mainly designed for high power applications with the heat generated by the base plate components. Due to the large distance between the semiconductor devices and the driver board, which is located on top of the housing, the parasitic inductance is increased by up to 250% (Lu and Hou 2019).

Therefore, a new structure has to be developed to minimize the distances between driver and transistors. A few papers (Jørgensen et al. 2019) give insights into the possibilities of integration into modules, but these are connected with a complex manufacturing process. Hence a new structure is derived from these, which is easy to manufacture, offers short distances between semiconductors and driver and accommodates all components in one package. Fig.2 illustrates the proposed structure to situate all components space-saving in a single housing. The semiconductor switches are located on the bottom side of the housing in order to transfer of the heat to the base plate. On the top side of the bottom board, the DC link capacitors and the drivers are located. This leads to small gate and bus-link inductances (Reusch et al. 2014).

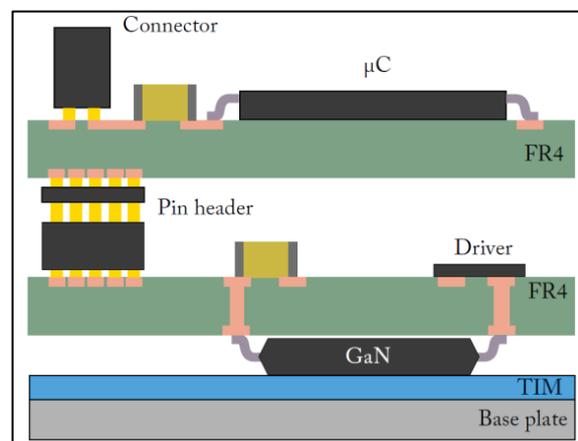


Fig. 2: Sectional view of the structure of the proposed power module structure.

A microcontroller board, based on an AURIX™ microcontroller from Infineon Technologies is connected via pin headers. With its three cores and peripherals, this microcontroller is suited best for the use in motor control applications. To ensure reliable operation, the maximum permissible thermal resistances of the thermal paste and heat sink must be calculated. Fig. 3 shows a sectional view of the module with the corresponding thermal resistances.

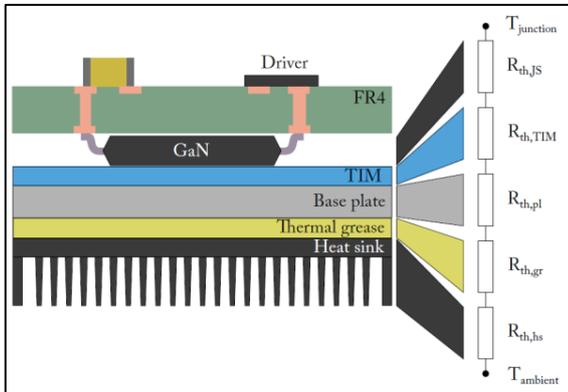


Fig. 3: Sectional view of the structure. On the right side, the corresponding thermal resistances are given.

Since the thermal resistance of the base plate is not given, thermal calculations have to be performed. Assuming a good thermal conductivity of the aluminum bottom plate, the thermal resistance can be modelled using the head spread effect, shown in Fig. 4.

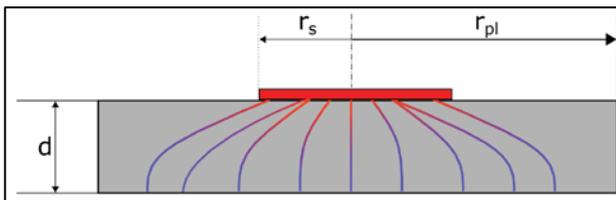


Fig. 4: Heat spread effect in the base plate. Figure redrawn from (Griesinger 2019)

Due to this effect, the average thermal resistance of the base plate drops slightly, latter value is below the simplified calculation assuming a constant cross section. Out of these calculations and the maximum permissible temperatures of the semiconductors, the permissible values of thermal paste and heat sink can be derived.

5. RESULTS

The intelligent power module is shown in Fig. 5, where the designed boards, which are mounted in the proposed

structure, can be seen. The housing is 3D-printed to ensure good isolation between the electrical contacts.

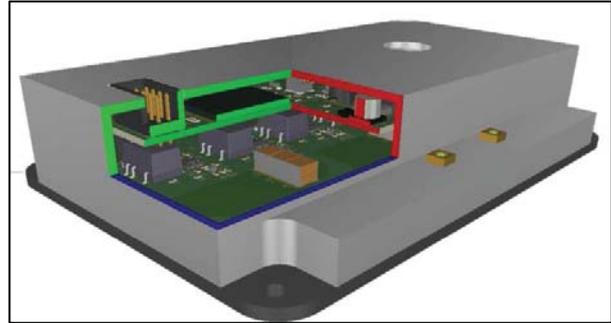


Fig. 5: 3D-model of the designed intelligent power module.

6. RESUME AND OUTLOOK

A possible structure for the integration of GaN semiconductor switches was developed and implemented in a first prototype. Development of the control firmware and tests of the prototype are underway.

7. LITERATURE

- Griesinger, A.; *Wärmemanagement in der Elektronik*, Berlin and Heidelberg: Springer, 2019, ISBN: 978-3-662-58681-5, DOI: 10.1007/978-3-662-58682-2
- Jørgensen, A. B.; Bęczkowski, S., Uhrenfeldt, C. , Petersen, N.H., Jørgensen, S. & Munk-Nielsen, S., 2019, A Fast-Switching Integrated Full-Bridge Power Module Based on GaN eHEMT Devices, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 3, pp. 2494-2504, DOI: 10.1109/TPEL.2018.2845538
- Lu, J.; Hou, R., 2019, Parasitics Optimization for GaN HEMTs in Conventional Housing-Type Power Modules, PCIM Europe 2019, Nuremberg, Germany
- Martienssen, W.; Warlimont, H., Springer handbook of condensed matter and materials data, Heidelberg and New York: Springer, 2005, ISBN: 3540443762
- Millán, J.; Godignon, P., Perpiñà, et al., 2014. A Survey of Wide Bandgap Power Semiconductor Devices, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, pp. 2155-2163, 2014. DOI: 10.1109/TPEL.2013.2268900
- Reusch, D.; Strydom, J., 2014, Understanding the Effect of PCB Layout on Circuit Performance in a High-Frequency Gallium Nitride-Based Point of Load Converter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 4, pp. 2008-2015, DOI: 10.1109/TPEL.2013.2266103
- Wintrich A.; Nicolai U., Tursky W., et al., Application manual power semiconductor, 2nd revised edition, Ilmenau, ISLE Verlag, 2015, ISBN: 978-3-938-843833

AUTHOR



Stefan Moser, BSc

MCI | The Entrepreneurial School, Maximilianstraße 2, 6020 Innsbruck, stef.moser@mci4me.at

Project Assistant at the EAL (Emerging Applications Lab) since November 2018. Development of hardware and software and simulation solutions in cooperation with Infineon. Finished the Bachelor study program Mechatronics / Electrical Engineering in July 2020 at the MCI to continue with the Master study program.

FH OÖ: DIGITALE VERNETZUNG VON KUNSTSTOFF-RECYCLINGMASCHINEN

Ing. Osterkorn P.

Kurzfassung: Das Unternehmen EREMA produziert Maschinen für die Kunststoff Recycling Branche und liefert seine Produkte an Kunden in aller Welt. Es ist daher von höchster Priorität, einen permanenten Überblick über den Status der einzelnen Maschinen zu haben. Aus diesem Grund wurde eine Edge Computing Lösung entwickelt. Der Einsatz dieser Technologie ermöglicht es, Daten, die an der Maschine generiert werden, in die Cloud zu senden. In der Cloud können diese Daten anschließend weiterverarbeitet und visualisiert werden. Die Daten werden durch ein Edge Device per OPC UA Schnittstelle von der Maschinensteuerung ausgelesen und in eine lokale Datenbank gespeichert. Um vor Ort an der Maschine die Möglichkeit zu haben, diese Daten zu visualisieren, kommt das Visualisierungswerkzeug Grafana zum Einsatz. Damit der Datentransfer in die Cloud skaliert werden kann, werden die erfassten Daten vor dem Senden aggregiert und verdichtet. Diese Softwarepakete müssen einerseits verwaltet und andererseits auf eine große Anzahl von Geräten verteilt werden. Dazu wird sich an der Microsoft Azure IoT Hub Infrastruktur bedient. Die einzelnen Softwaremodule werden zu einem gemeinsamen Software Deployment zusammengefasst. Im Azure IoT Hub werden diese Deployments zentral verwaltet und auf die Geräte ausgerollt.

Schlüsselwörter: IoT, Edge Computing, Azure, Deployment

1. EINLEITUNG

Die immer weiter voranschreitende Digitalisierung hat mittlerweile auch im Maschinenbau Einzug gehalten. Viele Unternehmen setzen auf diese Thematik und versuchen Ihren Kunden mit verschiedenen Diensten einen Mehrwert zu bieten. Auch EREMA entwickelt digitale Services, um dem Kunden neben einer hochverfügbaren und stabilen Produktionsanlage zu liefern auch in den Bereichen Performance, Qualität und Circular Economy zu unterstützen. Aus diesem Grund wurde das Entwicklungsprojekt „Digitale Vernetzung“ ins Leben gerufen.

Seit 2016 werden die Themen Digitalisierung und Vernetzung im Unternehmen behandelt. Damals wurde eine MES (Manufacturing Execution System) Lösung entwickelt und ein Produkt daraus generiert. Diese Software ist eine reine Vor-Ort-Lösung und lässt eine übergreifende Vernetzung nur bedingt zu. Mit dieser Arbeit sollte der Weg zu einer maschinenübergreifenden globalen Vernetzung geebnet werden.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das Hauptziel dieser Arbeit ist, ein Gerät mit zugehöriger Software zu entwickeln, um Maschinen- und Produktionsdaten von der Maschine in die Cloud zu befördern. Dieses Gerät soll weiters die aufgenommenen Datenpunkte lokal speichern und die Möglichkeit bieten, diese auch am Gerät selbst zu visualisieren.

Eine der zentralen Fragestellungen ist: Wie können entsprechende Software Pakete zentral verwaltet und global ausgerollt werden? Ein weiteres Ziel der Arbeit ist, eine Lösung

zu entwickeln die auch für zukünftige Angebote rund um die Maschine und die Bedürfnisse deren Betreiber gerüstet ist. Dabei ist auf eine hardwareunabhängige Softwarearchitektur und eine industrietaugliche Baugruppe zu achten.

Weiters sollte die geplante Lösung auch eine Möglichkeit bieten die Geräte im Feld zu überwachen und zu verwalten. Da die Maschinen quer über den Globus verteilt betrieben werden muss es möglich sein den aktuellen Status der einzelnen Geräte zu eruieren. Neben der Erfassung und Auswertung von Leistungsdaten sollen auch Möglichkeiten für ein konsequentes Update- und Patch-Management berücksichtigt werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die Cloud bildet durch ihre Skalierbarkeit und Flexibilität eine gute Möglichkeit, um Rechenoperationen dorthin zu verlagern und vor Ort Systeme zu entlasten. Dennoch stellt der weite Weg zwischen externem Rechenzentrum und Endbenutzer, sowie die steigende Menge an zu verarbeitenden Daten, eine große Belastung für das Netzwerk dar. Abhilfe wird geschaffen durch das Edge Computing Konzept. (Premsankar et al. 2018)

Der Edge Computing Ansatz verfolgt eine sehr dezentrale Struktur, weg von nur einem zentralen Datenaufnahme- und Datenspeicherort. Jensen beschreibt den Begriff Edge als jenen Ort bzw. den Rand zwischen der physischen und der digitalen Welt. (Jensen 2019) Diese Kante gibt es seit jeher und ist keine Erfindung der Industrie. Die Trennung zwischen der physischen und der digitalen Welt war bisher streng getrennt. Mit Entwicklung der Cloud wurden die beiden Welten etwas weiter zusammengerückt. Aber erst durch die Einführung von Edge Devices wird die digitale Welt direkt in die physische integriert. Premsankar nennt das wichtigste Charakteristikum von Edge Computing:

„[...] network-intensive data can be processed and analyzed just one hop away from end-devices [...]“ (Premsankar et al. 2018)

Die eingesetzten Geräte ermöglichen je nach Softwarearchitektur eine Aufbereitung der Daten und den Service interaktiver Applikationen. Die Geräte, die diese Rechenoperationen ausführen, sind auch unter dem Namen Fog- oder Edge-Knoten bekannt. Es lässt sich ein Schichtenmodell (Abb. 1) bilden in dem sich die Edge Devices zwischen der Cloud-Schicht und der Nodes-Schicht befinden.

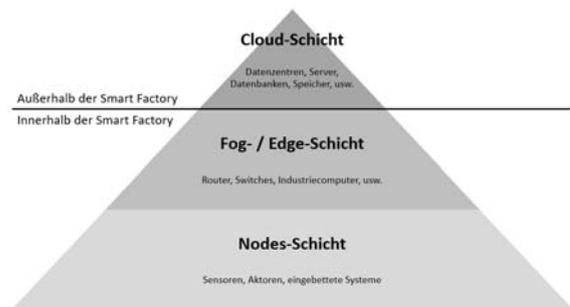


Abb. 1: Edge Computing Architektur (Trinks 2019)

Die Edge-Devices können grundsätzlich in zwei Szenarien unterteilt werden. Variante eins beschreibt dabei einfache, ressourcenarme Hardware, die an das Internet angeschlossen wird. Die Komponente erfasst dabei nur Daten und schickt diese ohne weitere Verarbeitung über ein fix definiertes Protokoll in die Cloud. Dieses Protokoll muss dementsprechend auch in der Cloud implementiert sein und muss dort interpretiert werden können. Variante zwei beschreibt weitaus leistungsfähigere Hardware, mit der die erfassten Daten nicht nur lokal gespeichert, sondern auch vor dem Transfer in die Cloud vorverarbeitet werden können. Auf diesen Geräten sind sogenannte Edge-Agenten implementiert, die das Framework für einzelne Edge-Module bilden.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Auswahl einer geeigneten Hardware, die Implementierung der IoT Infrastruktur auf dem Gerät und eine durchgehende Maschinenanbindung durchgeführt. Ein weiterer Aufgabenteil galt der lokalen Datenspeicherung sowie Datenaggregation und dem Transport dieser Daten in die Cloud. Das komplette Software Deployment, die Geräteverwaltung und das Update Management wurde in der Cloud-Infrastruktur integriert und automatisiert.

Die Edge Devices lesen per OPC UA Schnittstelle die Daten der Maschinensteuerung aus. Dies wird mittels der von Microsoft bereitgestellten Referenzimplementierung *OPC Publisher* realisiert. Anschließend werden die gelesenen Daten an den IoT Edge Hub weitergeleitet. Dieser bildet den lokalen Nachrichtenbus und ermöglicht die Kommunikation innerhalb der Runtime bzw. der einzelnen Edge Module. Die Speicherung der Daten in die lokale Datenbank erfolgt durch ein eigens entwickeltes Edge Modul. Dabei werden die jeweiligen Datenpunkte unverändert in die InfluxDB gespeichert. Somit kommt es lokal am Edge Device zu keinem Informationsverlust. Parallel zur Datenspeicherung erfolgt die Datenverdichtung inkl. Transfer per AMQP-Protokoll in die Cloud (Abb. 2).

5. ERGEBNISSE

Durch den Einsatz der Edge Computing Technologie wird nicht nur für den Kunden ein zusätzlicher Mehrwert generiert, sondern auch für EREMA. Der Kunde erhält mithilfe dieser neuen Technologie Zugriff auf den EREMA BluPort (IoT Plattform) und hat dort die Möglichkeit neue digitale Zusatzangebote zu nutzen. Aber auch für EREMA sind die gewonnenen Maschinendaten von hohem Wert hinsichtlich Entwicklung, Maschinenüberwachung und Unterstützung für unsere Kunden. Aus diesem Grund wurde diese Technologie als Maschinenstandard übernommen und jede neue Maschine wird mit dieser Technologie ausgestattet. EREMA setzt sich selbst die Ziele immer hoch und daher galt es auch eine Lösung für bestehende Maschinen zu finden. Daher wurde ein Nachrüstkit entwickelt, um auch Maschinen an die IoT Plattform anzubinden die bereits 20 Jahre und älter sind. Ein

AUTOR



Ing. Philipp Osterkorn

EREMA Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH, Unterfeldstr. 3 4052 Ansfelden, +43 732 3190 - 0, erema@erema.at

Kurzer Lebenslauf: HTBLA Wels Mechatronik (2012), Tätigkeit Fa. Softwerk (SPS-Programmierung/ E-Plan/Projektleitung 2013-2018), Tätigkeit Fa. EREMA (MES Solutions, Entwicklungsprojektleiter Digitalisierung), FH Wels Bachelorstudiengang Mechatronik/Wirtschaft (2017-2020)

ganzheitliches Konzept über alle Maschinen für alle Kunden frei nach dem Motto „Another life for plastic – because we care“

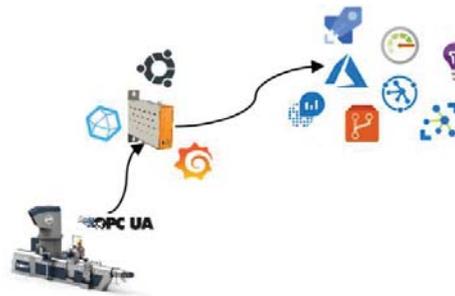


Abb. 2: IoT Edge Konzept EREMA

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch die zunehmende Digitalisierung unserer Welt steigt nicht nur die Anzahl an neuen Arten von Dienstleistungen, sondern auch die damit verbundenen Möglichkeiten Produktionsanlagen zu überwachen und zu analysieren. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die standortübergreifende Sammlung von Informationen an einer zentralen Stelle. Mit der gezeigten Lösung wurde ein System entwickelt, mit dem zukünftig datengestützte Analysen und Optimierungen der Maschinen erfolgen können. Durch den Einsatz der Edge Computing Technologie wurde der Weg von der abgeschotteten Maschine in der Produktionshalle in die Cloud geebnet.

Für die Zukunft sind die Weichen bereits gestellt und es gilt die Umsetzung eines CI/CD-Konzepts mittels Microsoft Azure DevOps. Das Ziel soll sein, Änderungen nachvollziehbar und transparent zu halten sowie die Änderungen auch durch mehrere Instanzen prüfen bzw. freigeben zu lassen. Weiters müssen Methoden entwickelt werden, um die erfassten Daten auszuwerten und nutzbar zu machen. Erst mit der Nutzung der Daten beginnt der Weg zum digitalen Geschäftsmodell. Anschließend müssen diese Daten ausgewertet und vor allem bewertet werden. Aus den Bewertungen müssen Aussagen abgeleitet werden, die am Ende des Tages dem Kunden bzw. dem Unternehmen einen Mehrwert bieten bzw. eine Hilfe diesen zu generieren.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Jensen, D., 2019, *Beginning Azure IoT Edge Computing*, CA: Apress, Berkeley,
- Premsankar, G.; Di Francesco, M.; Taleb, T., 2018, *Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study*. In: *IEEE Internet of Things Journal* 5, S. 1275–1284.
- Trinks, S., 2019, *Proceedings of the Conference on "Lernen, Wissen, Daten, Analysen"*. In: Jäschke, R.; Weidlich, M. (Hrsg.). *Edge Computing im Spannungsfeld der Smart Factory – Ein Status Quo*. Berlin: CEUR-WS, S. 396–412.

BACHELORARBEIT - FH VORARLBERG: OPTIMIERUNG VON PROZESSEN UND PRODUKTEN DURCH ADDITIVE FERTIGUNG IM BEREICH FUSED DEPOSITION MODELING

Pius Prantl

Kurzfassung: Ziel dieser Arbeit ist die Gegenüberstellung und Optimierung eines Desktop FDM-Druckers im Vergleich zu einem industriellen FDM-Drucker. Nach dem Nachweis der Reproduzierbarkeit wurde eine Prozessoptimierung mit Hilfe eines statistischen Versuchsplans (DoE) durchgeführt und danach statistisch ausgewertet. Der Vergleich zwischen dem optimierten Desktop FDM-Drucker und dem industriellen Gerät stellte den Abschluss der Arbeit dar. Anhand der gemessenen Dimensionen, sowie der mechanischen Eigenschaften konnten signifikante Prozessparameter identifiziert und ausgewertet werden. Abschließend konnte festgestellt werden, dass der industrielle FDM-Drucker zwar im Vorteil ist, jedoch Faktoren wie Anforderungen an Genauigkeit, Schnelligkeit und Budget bei der Entscheidung hinsichtlich einer Investition bedacht werden müssen.

Schlüsselwörter: 3D-Drucktechnologie, Fused Deposition Modeling, ABS, FDM-Optimierung, FDM-Vergleich

1. EINLEITUNG

Additive Fertigung bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten für die Industrie. Das am weitesten verbreitete Verfahren ist Fused Deposition Modeling (FDM). Die Firma Hirschmann Automotive GmbH gehört zu den führenden Zulieferern in der Automobilindustrie im Segment der Stecker- und Sensorsysteme. Dabei bietet additive Fertigung eine Möglichkeit, die Prototypenfertigung in der Entwicklungsphase immens zu beschleunigen. Bauteile, die konventionell nicht fertigbar sind, lassen sich durch additive Fertigung einfacher herstellen. Dabei muss bedacht werden, dass Dimensionsstabilität, sowie mechanische, optische und chemische Eigenschaften von gedruckten Objekten oft nicht dem Profil von konventionell hergestellten Bauteilen entsprechen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das Druckergebnis des FDM-Verfahrens hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren wie z.B. Prozessparametern und Umwelteinflüssen ab. Diese Vielzahl an Parametern ermöglicht es, 3D-Drucker für bestimmte Anwendungsfälle zu optimieren. Während die Ermittlung dieser Werte bei Desktop-Geräten von jedem Benutzer selbst getätigt werden muss, erfolgt die Parameterfindung bei industriellen Druckern vom Hersteller. Dies erklärt auch die teilweise enormen Preisunterschiede zwischen Desktop und industriellen Geräten.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Für die Optimierung des Desktop FDM-3D-Druckers wird der Guider IIS Series des Herstellers Flashforge herangezogen und mit dem industriellen FDM Gerät F370 des Herstellers

Stratasys verglichen. Das Bauraumvolumen ist bei beiden nahezu ident.

Um vergleichbare Werte zu erzielen werden bei beiden Druckern das Thermoplast ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) des jeweiligen Herstellers verwendet. Stratasys nennt dies ABS-M30. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten erfolgt eine Materialanalyse. Die Differenzkalorimetrie (DSC) und die Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) werden hierfür durchgeführt. Für die Prüfung der mechanischen Eigenschaften werden Zugversuche nach ISO 527 und Schlagbiegeversuche nach Charpy (ISO 179) durchgeführt. Um diese Versuche zu tätigen, müssen Zugstäbe und Schlagstäbe auf beiden Geräten gedruckt werden. Alle Objekte werden mit 100% Füllgrad befüllt. Pro Druck werden drei Zugstäbe liegend im Bauraum platziert. Schlagstäbe werden jeweils drei liegend, seitlich liegend und stehend gedruckt (**Abb. 1**). Mittels dieser Objekte werden auch Längengenauigkeiten der beiden Drucker ermittelt. Für die Messung von Längen, Außen- und Innenradien, sowie Verzug wurde eine Prüfplatte angefertigt, die bei jedem Druck einmal hergestellt wird.

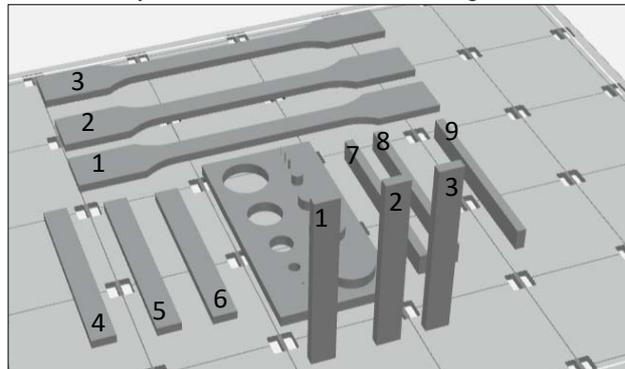


Abb. 1: ein Druckjob in den 3D-Druckern.

Mittels Messschieber können alle Längen zwischen 4 mm und 80 mm ermittelt werden. Mit Hilfe visueller Prüfmaschinen können durch die Berechnung von Gaußkreisen Rundheiten festgestellt werden. Dasselbe Gerät dient der Feststellung von Verzug.

Als Grundlage für die Optimierung dient ein statistischer Versuchsplan (DoE). Von den 64 einstellbaren Faktoren im zu optimierenden Desktop-Gerät werden die wichtigsten vier durch Literaturrecherche und Erfahrungswerte ausgewählt. Im teilfaktoriellen Versuchsplan werden diese schließlich berücksichtigt. Dabei werden für jeden Faktor ein Minimumwert und ein Maximumwert eingefügt (Tab. 1).

Parameter	Einstellung	Einheit
Geschwindigkeit	40 bis 60	mm/s
Schichtstärke	0,1 bis 0,2	mm
Temperatur	230 bis 240	°C
Betttemperatur	110 bis 120	°C

Tab. 1: Faktoren der DoE mit ihren Werten.

Diese wurden vom Hersteller (Flashforge 2020) vorgeschlagen. Auch ein Centerpoint wird in den Versuchsplan aufgenommen. Somit erfolgen 9 Drucke mit verschiedenen Parametern. Jeder dieser Drucke wird zweimal durchgeführt und mit einer 90° Drehung um die Z-Achse versehen. Dasselbe gilt für die beiden Drucke auf dem Stratasys Gerät. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt mit der Software Minitab 18.

Um Reproduzierbarkeit der Drucker festzustellen, werden Mittelwertvergleichstests mit 95%-Konfidenzniveau durchgeführt.

Bei der Signifikanzanalyse werden nicht nur Einflüsse der einzelnen Faktoren ausgewertet, sondern auch die Wechselwirkungen. Für besagte Analyse werden alle laut Reproduzierbarkeitsprüfung wiederholbaren Messgrößen herangezogen. Es erfolgen drei verschiedene Optimierungen. Es wird nach höchster Dimensionsgenauigkeit und minimaler Druckdauer (1) gesucht. Maximale mechanische Eigenschaften in Kombination mit minimaler Druckdauer (2) zu erreichen bilden die zweite Optimierung. Die dritte erfolgt nach höchster Dimensionsgenauigkeit, maximalen mechanischen Eigenschaften und minimaler Druckdauer (3).

Abschließend wird der Vergleich zwischen den beiden FDM-Geräten hergestellt. Für den Vergleich der Geräte werden die Drucke ausgewählt, die auf beiden die höchsten mechanischen Eigenschaften aufweisen. Außer den mechanischen Eigenschaften erfolgt auch ein Vergleich der Längen- und Rundheitsgenauigkeit, sowie Verzug.

5. ERGEBNISSE

Die Feststellung der Reproduzierbarkeit des Flashforge Druckers liefert das Ergebnis, dass 14 der insgesamt 43 Messgrößen reproduzierbar sind. Alle Längen, die nicht mehr als 4 mm betragen, sind wiederholbar, mit Ausnahme der Gesamtlänge der stehend gedruckten Schlagstäbe, der Breite und der Höhe der Prüfplatte. Auch die mechanischen Eigenschaften liefern reproduzierbare Werte, mit Ausnahme der Schlagzähigkeit der liegend gedruckten Schlagstäbe. Kleinere Innenradien als 20 mm können nicht reproduziert werden. Beim Stratasys Drucker sind 17 Messgrößen wiederholbar. Alle mechanischen Eigenschaften sind reproduzierbar, außer die Schlagzähigkeit der stehend gedruckten Objekte. Es zeigen sich auch hier verschiedene Längen als reproduzierbar, ohne ein Muster zu bilden. Bei der Auswertung der Signifikanzanalyse wurde ermittelt, dass für mechanische Eigenschaften alle Faktoren signifikante Einflüsse liefern. Der Faktor Geschwindigkeit kommt jedoch nur als Mischform vor. Bei Betrachtung der Außen- und Innendurchmesser ist zu erkennen, dass nur Geschwindigkeit und Schichtstärke signifikante Einflüsse liefern. Bei den verschiedenen Längen zeigen alle Faktoren signifikante Einflüsse, mit Ausnahme der Extrudertemperatur.

Um mit der Optimierung des Flashforge Geräts zu beginnen, mussten fortwährend Probleme behoben werden. Das am häufigsten auftretende ist die mangelnde Haftung von ABS auf der Bauplattform. Mithilfe eines Entfeuchters wurde dies behoben. Bei der ersten Optimierung liefern die Drucke mit der höchsten Geschwindigkeit und Schichtstärke, sowie niedrigsten Temperaturen die besten Messergebnisse. Die Mittelpunkte

AUTOR



Bsc. Pius Prantl

Fachhochschule Vorarlberg, Hochschulstraße 1, 6850 Dornbirn, +436645408459, pius.prantl@hotmail.com

Kurzer Lebenslauf: geboren 1996, Matura 2015 am Sportgymnasium Dornbirn, 2016 Zivildienst bei der Marktgemeinde Lustenau, Bachelor of Science in Engineering an der FH Vorarlberg 2020

liefern für die zweite Optimierung die höchsten Werte. Optimale Ergebnisse für Dimensionsgenauigkeit, mechanische Eigenschaften und minimale Druckdauer liefern höchste Geschwindigkeit und Extrudertemperatur, sowie minimale Schichtstärke und Betttemperatur.

Die Materialanalyse zeigt, dass sich die Materialien nicht signifikant unterscheiden und somit ein Vergleich der beiden Drucker herzustellen ist. Beim Vergleich der Längengenauigkeit ist zu erkennen, dass Stratasys mit einer durchschnittlichen Abweichung von 0,14 mm immer näher am Sollwert liegt, als Flashforge mit 0,34 mm. Verzug ist beim billigeren Gerät doppelt so groß als beim teuren Drucker. Auch die Druckdauer zeigt das industrielle Desktop FDM-Gerät im Vorteil. Einzig bei den mechanischen Eigenschaften liefert der Flashforge Drucker mit einem Elastizitätsmodul von 2393 MPa signifikant höhere Werte als der Stratasys mit 1695 MPa.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die meisten Längen nicht reproduzierbar sind. Einflüsse der Bauteillänge konnten nicht ermittelt werden. Weiteres ist in dieser Arbeit bewiesen worden, dass die Bewegungsgeschwindigkeit einen kleineren Einfluss auf mechanische Eigenschaften hat als erwartet. Zu den Rundheiten kann allgemein gesagt werden, dass Innenradien tendenziell zu klein gedruckt werden und Außenradien zu große Ergebnisse liefern. Die in der DoE angepassten Faktoren besitzen nahezu für jede der Messgrößen signifikante Einflüsse. Die Optimierung des Desktop-Geräts zeigt, dass für höchste mechanische Eigenschaften die Verschmelzung der Schichten essenziell ist und für hohe Formgenauigkeit höhere Temperaturen für Extruder und Bett zu wählen sind. Gleiches gilt für die Schichtstärke.

Beim Vergleich der beiden Geräte ist zu erkennen, dass der teurere Drucker signifikant höhere Reproduzierbarkeit und Maßgenauigkeit zeigt. Auch Verzug ist signifikant kleiner. Einzig bei den mechanischen Eigenschaften ist dies umgekehrt.

In naher Zukunft könnte diese Arbeit weitergeführt werden. Die Reproduzierbarkeit könnte ohne 90° Drehung durchgeführt werden. Dies würde möglicherweise weitere interessante Ergebnisse liefern. Die Erstellung einer größeren Grundgesamtheit würde aussagekräftigere Ergebnisse erzielen. Weiteres wäre es vorstellbar den bestehenden Versuchsplan mit weiteren Materialien zu ergänzen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Flashforge Corporation, „Eigenschaften und Druckparameter aller Flashforge Filamente“, 21-Okt-2019. <https://flashforge-germany.com/blog/2019/10/21/eigenschaften-und-druckparameter-aller-flashforge-filamente/>. 20-Jän-2020
- K. Siebertz, D. van Bebbler, und T. Hochkirchen, *Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE)*, 2. Aufl. Springer, 2017
- W. Weißbach, M. Dahms, und C. Jaroschek, *Werkstoffkunde: Strukturen, Eigenschaften, Prüfung*, 19. Auflage. Wiesbaden: Springer, 2015

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES UPPER AUSTRIA: PROCESS OPTIMIZATION FOR LASER WELDING OF BAR WINDINGS BY VARYING THE COPPER BAR END GEOMETRY

Rampsel, Roman

Abstract: *The changeover from internal combustion engines to electrified drives in the automotive sector is continuously increasing the demand for electric motors and, above all, for (partially) automated manufacturing machines. The development of processes and the associated know-how constantly requires new tests and trials in every area. This includes the laser welding of the ends of copper bar windings primarily to create the electrical connection of the stator. Due to the manufacturer-specific bar geometry and insulation, an adjustment of welding parameters and sequences is inevitable. However, quality defects of the welded joints can still not be minimized or excluded. For the optimization of the welding results, two bar geometries with different end geometries of the bar winding ends are considered. For each end geometry, test series with adapted welding parameters are carried out. For the evaluation, various requirements have to be considered. These include the cross-section and shape of the welding bead, the surface quality, possible damage to the insulation as well as pore formation and inclusions. The evaluations for each bar geometry show a trend for a specific end geometry. These end geometries lead to consistent welding results with the required quality and requirements.*

Keywords: *Electric motor, laser welding, copper bar, end geometry, stator manufacturing, process optimization.*

1. INTRODUCTION

Over the last decade, the demand for hybrid and fully electric cars has risen continuously. In 2019 new registrations of battery electric vehicles (BEV) increased by 20 % and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) by 193 % in Austria compared to December 2018. (Cf. AustriaTech, 2019)

Since the emissions scandal at Volkswagen AG, the automotive industry has stagnated and the development of electric vehicles is increasing at a high pace. Due to the growing demand for electric cars, the demand for electric motors, batteries, and their components is also rising. The changeover from round copper windings wound in cores to bar windings means that new production machinery has to be developed. Innovative production methods and automated processes will guarantee the required automotive standards. Furthermore, an increased copper fill factor per slot by up to 30 % maximizes the efficiency and performance of the electric motor (Cf. Tracy, 2019).

Miba AG concentrates globally on the further development of business areas and components for electric vehicles. Miba Automation Systems Ges.m.b.H (MAS) focuses on the development and assembly of special machinery for stator production. Currently, the widely-used welding technique in electric motor production is welding with a laser. For that reason, the focus of this thesis concentrates on the optimization of the welding process by using laser welding. High requirements are placed on the welded connections of the copper bars regarding optical shape, quality, and electrical conductivity.

In close cooperation with well-known international automotive manufacturers, new stator designs are developed.

Various end geometries are applied to the bar windings and welded in pairs. These end geometries have to favor the insertion into the lamination stack and the twisting of the ends. The effect of various end geometries on the welding joints is currently not known and has to be evaluated.

2. RESEARCH QUESTIONS AND OBJECTIVES

Lasers are already being used for welding of copper bar windings in stator production in the automotive industry. Process development and automation represent special challenges in this area. On the one hand, the welding joints have to be set precisely and consistently, on the other hand, a very high welding quality has to be achieved. All types of contamination of the welding joints and the entire stator have to be avoided without exception. The welded joint between the copper bars has to resist electrical, thermal, and mechanical stresses. Inclusions and pores reduce the conductive cross-section, resulting in local heating due to the high current density. Weld spatters and material ejections lead to mechanical losses of the weld seam, contaminate the surrounding areas, and in the worst case cause a short-circuit fault between the bars. Insufficient or inconstant welding depth leads to local and one-sided electrical overloads of the electric motor.

This work is intended to show the potential for improvement in the preparation of the bar windings and the welding process. For this purpose, two bar geometries with various end geometries of the pair-welded bar windings are considered. To reduce the complexity and to keep ensuing automation possibilities simple, chamfers with 45° and 0.8 mm are applied to the edges of the bar ends. Six different combinations of the chamfers at the ends are tested (see Fig. 1). For each end geometry, 25 welding samples are prepared. Several welding samples are carried out from each geometry to evaluate values for process stability. The aim is to clarify and visualize the comparability of the individual end geometries.

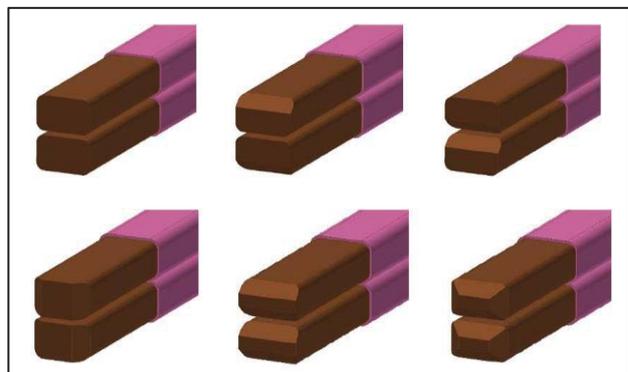


Fig. 1: End geometries version V1 - V6 (top left - bottom right)

3. RESEARCH METHODS

The welding tests are carried out with the Trumpf Laser 5001. With this laser, an option, the so-called BrightLine Weld,

can be activated. This method reduces quality defects and increases the welding speed by flexibly distributing the laser power with a 2-in-1 fiber (Cf. Trumpf, 2019). The analysis of the welding samples and the collected data on process stability during the tests are intended to determine the most suitable copper bar end geometry. Therefore, high-quality images of the samples from all sides are created, measured, and evaluated. Besides, metallographies are produced to show pore formation and inclusions. The thermal influence in the bar winding is a significant criterion for the stripping length of the insulation.

4. WELDING TESTS AND EVALUATION OF WELDING SAMPLES

An experimental prism fixture is used for the experiments. Cross-sections of the samples up to 10 x 10 mm can be prepared for welding. The laser device is set up once during the first welding sample. The optic has to be positioned over the working area, and the focus distance has to be adjusted. As the bar windings have constant lengths, no adjustment is required between the samples.

Qualitative and quantitative aspects have to be taken into account when evaluating the welding tests. These aspects include the appearance of the welding joint (geometry), such as position, shape and size, the surface of the bead (surface), and the material structure (metallography), including the HAZ and effect on the insulation (material). The weld seam surface, as well as the material and micro-structural texture, are essential for the overall quality of the product.

5. FINDINGS

The four aspects of geometry, surface, material, and metallography were verified separately. All findings on the end geometry, contour for follow-up processes, and possible product optimizations are presented for each bar winding geometry. Table 1 illustrates the findings of bar geometry 1. Table 2 shows the findings of the bigger bar geometry 2. Depending on how the corresponding results for all samples were performed, the samples were evaluated according to the four criteria and clustered in three categories: good (✓), neutral (~), or bad (✗).

	geometry	surface	material	metallography
V1	~	✗	✗	✓
V2	✓	✓	~	✓
V3	✓	~	~	~
V4	✓	✓	✓	✗
V5	✓	~	✓	✓
V6	~	~	✓	✓

Tab. 1: Summary of bar geometry 1

From this summary, for bar geometry 1, the versions V2 and V5 turned out best. Due to the higher weighting of the surface to the material properties, version V2 was chosen.

AUTHOR



Roman Peter Rampsel

Miba Automation Systems Ges.m.b.H, Aurachkirchen 45, 4694 Ohlsdorf, Austria

2005 - 2009 Mary Ward Privatgymnasium St. Pölten; 2009 - 2014 HTBLu.VA St. Pölten – Maschineningenieurwesen; 2018 - 2020 FH OÖ Campus Wels – Mechatronik/Wirtschaft (Bachelor) --- since Aug. 2016 Development and Design Engineer at Miba Automation Systems Ges.m.b.H

	geometry	surface	material	metallography
V1	✗	✗	✗	~
V2	✗	~	✗	~
V3	✗	✓	~	✓
V4	✗	✗	✗	~
V5	~	~	~	~
V6	✓	✓	✓	~

Tab. 2: Summary of bar geometry 2

The summary of the second bar geometry shows the troubles to achieve the required cross-sections. Increasingly larger cross-sections have been achieved by specific adaptation of the welding parameters. The best surfaces of the welding beads were obtained with versions V3 and V6. The version V6 has proved to be the best in an overview of all tests.

6. FORECAST AND FURTHER CONSIDERATIONS

Based on the experiments of this work, the process parameters for both chosen end geometries can be further optimized by using the same laser device. Additional experiments with similar welding parameters and sequences can be carried out on laser devices with different specifications. The variation of the laser power, wavelength, and spot size has a direct influence on the welding process. High development potential can be achieved by power modulation.

In addition to the selected end geometries, the definition of the end geometries can be further developed. Especially larger bar geometries with bigger chamfers can lead to more positive results and increase the cross-section of the welding bead. Therefore, further test series for punching and adaptation of the chamfer geometry are to be planned. Ideally, the proves must provide an optimum combination of the lifetime of the punching tool, the necessity for insertion and twisting of the bar windings, and the welding result.

7. BIBLIOGRAPHY

- AustriaTech, 2019. *Electromobility in Austria – Facts & Figures 2019*, AustriaTech, Available from: https://austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/36a1264ae6/Facts_Figures_2019_12_E.pdf, Retrieved: October 6, 2020
- Tracy, D., 2019. *Car technology – An Extremely Detailed Look At The Porsche Taycan’s Engineering. Designed To Take On Tesla, Jalopnik*, Available from: <https://jalopnik.com/an-extremely-detailed-look-at-the-porsche-taycans-engin-1837802533>, Retrieved: October 6, 2020
- Trumpf Laser GmbH & Co KG, 2019. *Instruction Manual TruDisk 1000 bis 6006*, Trumpf Laser GmbH & Co KG

„AUF Ladung VON ZWEITAKTMOTOREN MITTELS ABGASTURBOLADER UND SPÜLGEBLÄSE“

Lukas Schiefermair

Kurzfassung: Der Verbrennungsmotor nimmt trotz steigender Anzahl an elektrischen und alternativen Antrieben noch immer einen wesentlichen Anteil in der Motorenbranche ein. Um den Verbrenner jedoch in Zukunft konkurrenzfähig zu halten, muss die Effizienz gesteigert werden. Durch Technologien wie Turboaufladung, Auslasssteuerung oder Direkteinspritzung kann der Verbrenner noch weiter optimiert werden. Der Fokus liegt auf der Entwicklung umweltfreundlicher Technologien mit höherer Energieeffizienz und geringeren Emissionen unter gleichzeitiger hoher dynamischer Performance. Aufgrund der konstruktions- sowie funktionsbedingten hohen Emissionen und Verbräuche des Zweitakters geriet dieser in der modernen Welt immer mehr in Vergessenheit. Eine der neuen Innovationen der Firma Rotax beinhaltet die Serien-Aufladung eines Zweitaktmotors. Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde diese Thematik nun umgesetzt, analysiert und dokumentiert. Die Bachelorarbeit wurde in Kooperation mit der Firma BRP Rotax durchgeführt.

Schlüsselwörter: Verbrennungsmotor, Zweitaktmotor, Aufladung, Abgasturbolader, Spülgebläse

1. EINLEITUNG

Verbrennungsmotoren spielen in der heutigen Welt noch immer eine wichtige Rolle und bilden das Rückgrat der Mobilität. Der dabei kleine Anteil an Zweitaktmotoren im Vergleich zum Viertaktmotor gerät immer mehr in Vergessenheit. Aufgrund seiner hohen Spülverluste und somit einhergehend hohen Verbrauchs und den hohen Emissionen wird er nur mehr in Spezialbereichen eingesetzt. Die Aufladung von Verbrennungsmotoren gehört schon lange zum Stand der Technik in der Motorenindustrie. Dies beinhaltet jedoch meist nur die Aufladung von Viertaktmotoren. Die Aufladung von Zweitaktmotoren wird heutzutage nur bei langsamlaufenden Zweitakt-Schiffsdieselmotoren verwendet, in kleineren Kubik-Klassen wird sie so gut wie gar nicht angewendet. Im Focus dieser Arbeit steht die Aufladung eines Zweitaktmotors zur Kompensation des in größeren Höhen niedrigeren Luftdrucks und somit der geringeren Leistung. Die Aufladung fungiert somit nicht zur allgemeinen Leistungssteigerung, sondern dient als Höhenkompensation. Der 850 E-TEC Turbo repräsentiert dabei den ersten in Serie produzierten schnelllaufenden sowie aufgeladenen Zweitaktmotor der Welt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Verbrennungsmotoren verlieren aufgrund des geringeren Luftdruckes in höheren Betriebslagen stark an Leistung. Da die konstante Leistung von Schneemobilmotoren gerade in diesen Betriebsbereichen benötigt wird, stellt dies eine Problematik dar. Einer der wichtigsten Punkte bei der Entwicklung eines

Verbrennungsmotors ist die benötigte Leistung bei hohem Wirkungsgrad, um somit auch niedrigen Kraftstoffverbrauch und niedrige Emissionen zu gewährleisten. Ziel ist es dabei, bei definierten Motorabmessungen, sowie Motorgewicht möglichst viel Leistung zu gewinnen. Die effektive Leistung P_e eines Verbrennungsmotors ist mit Formel 1.0 definiert. Eine Steigerung der effektiven Leistung ist laut Formel 1.0 nur durch Erhöhung des effektiven Mitteldruckes p_{me} , des Hubvolumens V_h sowie der Drehzahl n möglich. Eine Erhöhung des Hubraumes würde eine Steigerung der Motormasse und des Motorbauraumes mit sich bringen. Das Erreichen einer Leistungssteigerung mit Hilfe einer Drehzahlsteigerung bringt Wirkungsgradverluste aufgrund der erhöhten Reibung, welche proportional zur Drehzahl steigt. Die Leistungssteigerung über den in Formel 1.1 definierten effektiven Mitteldruck p_{me} ist somit technisch die beste Lösung. Durch die Aufladung wird der effektive Mitteldruck erhöht. Die Dichte der Luft nach dem Turbolader ρ_2 ist abhängig vom Ladedruck und der Ladelufttemperatur. Mit Erhöhung der Luftdichte ρ_2 wird somit die effektive Motorleistung gesteigert. Der aufgeladene Motor soll dabei die Leistung des Basismotors bis zur einer Höhenlage von 2500m erzielen. Im Vergleich dazu weist der Basis-Saugmotor auf dieser Höhe einen Leistungsverlust von etwa 25% auf. Bei der Verwendung der Aufladung als Höhenkompensation entspricht der maximale Ladedruck etwa dem Wert des atmosphären Druckes auf Meereshöhe. Ziel ist es, den Motor mit konstantem Druck zu versorgen, um Leistungseinbußen bei der Verwendung des Schneemobils in höheren Betriebslagen zu verhindern. Eine Steigerung des Ladedruckes wird durch eine Steigerung der Höhenlage erzeugt.

$$1.0 \quad P_e = p_{me} * V_h * n * \frac{1}{Z} \quad 1.1 \quad p_{me} = \rho_2 * \lambda_L * \eta_e * \frac{H_u}{\lambda * L_{min}}$$

P_e = effektive Leistung
 p_{me} = effektiver Mitteldruck
 n = Drehzahl
 V_h = Hubvolumen
 ρ = Dichte nach Lader
 λ_L = Liefergrad

η_e = effektiver Wirkungsgrad
 H_u = unterer Heizwert
 L_{min} = Mindestluftverhältniss
 λ = Luftverhältniss
 Z = 2 bei 4-Takt, 1 bei 2-Takt
 p_2 = Ladedruck

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Um das gewünschte Ergebnis der Höhenkompensation zu erreichen und um den damit verbundenen Leistungsverlust zu kompensieren, ist die Auswahl eines geeigneten Turboladers notwendig. Die Auswahl des Laders erfolgte mit Hilfe des Verdichterkennfeldes sowie des Turbinenkennfeldes. Wichtig hierfür sind der Massenstrom und das Druckverhältnis. Um die Performance des Endproduktes zu optimieren, wurden verschiedenste Abänderungen am Turbolader vorgenommen und eine Ladedrucksteuerung mittels Wastegate konzipiert. Die Optimierungen des Turboladers beinhalten verschiedene A/R Verhältnisse, Wastegategrößen, Strömungsoptimierungen,

Gewichtsoptimierungen und Anpassungen des Verdichter- sowie Abgasgehäuses. Doch nicht nur der Turbolader spielt in der Aufladung eine wichtige Rolle. Durch die Aufladung ergibt sich meist ein verschlechtertes Ansprechverhalten. Da das Ansprechverhalten jedoch für Schneemotoren einen wesentlichen Faktor darstellt, wurden verschiedenste Untersuchungen zur Verbesserung der Ansprechverhaltens analysiert und umgesetzt. Auch verschiedene Komponenten wie Ladeluftkühler, Abgasanlage, VTG-Steuerungen, Kolben, Wastegatesteuerungen sowie Wastegatekomponenten wurden in verschiedensten CFD-Analysen und Messungen auf ihre Notwendigkeit geprüft. Schlussendlich wurde durch eine Vielzahl an Prüfstandsmessungen die perfekte Konfiguration eruiert und ein perfekt abgestimmtes Powerpack entwickelt. Abbildung 1 zeigt den 850 E-TEC Turbo.



Abb. 1: 850-E-TEC Turbo

5. ERGEBNISSE

Das Endergebnis der Bachelorarbeit ist eine vollständige Dokumentation der Auslegung des 850 E-TEC Turbo sowie eine allgemeine Ausarbeitung und Einführung zum Thema „Verbrennungsmotoren“. Um das Zusammenspiel aller Komponenten zu gewährleisten, wurde an einer Vielzahl von Konzepten gearbeitet, um schlussendlich ein fertiges Konzept zur Aufladung des Basismotors bereitzustellen. Die Arbeit beschäftigt sich speziell mit der thermodynamischen Auslegung des Motors. Hierbei wurden die verschiedensten Komponenten für die Turboaufladung analysiert und mittels Prüfstandsmessungen ausgewertet, um die bestmögliche Konfiguration sicherzustellen. Betrachtet wurden hierbei benötigte Teile wie Ladeluftkühler, spezielle Kolben, Abgasanlagen, Schmierungsbaugruppen, Schubumluftventile, geeignete Abgasturbinen und deren Spezifikationen. Das Hauptaugenmerk der Arbeit lag jedoch auf der Dimensionierung sowie Optimierung des Abgasturbinenladers. Hierbei wurden Turboladerkonfigurationen analysiert, um anschließend die geeignetste Basis für die Strömungs- sowie Leistungsoptimierung zu finden. Durch das Analysieren verschiedenster Verdichter- sowie Turbinenkennfelder wurde der geeignetste Abgasturbinenlader eruiert. Dieser Basisturbinenlader wurde dabei fortlaufend durch Abänderungen

LUKAS SCHIEFERMAIR



Lukas Schiefermair, BSc

FH Campus Wien, Favoritenstrasse 226, 1100 Wien,
lukas.schiefermair@stud.fh-campuswien.ac.at

HTL Wels Mechatronik Abschluss 2016, Bachelorstudium Fh Campus Wien High Tech Manufacturing abgeschlossen 2020, Verfassung der Bachelorarbeit bei BRP Rotax in der Thermodynamikentwicklung 2019/2020

der internen Komponenten wie Wastegate, Verdichterrad, Turbinenrad sowie Verdichter- und Turbinengehäuse optimiert, um den Anforderungen für die Markteinführung zu entsprechen. Ziel war es hierbei, möglichst viele Komponenten des Basismotors zu verwenden, um Produktions- sowie Entwicklungskosten minimal zu halten. Da der aufgeladene Zweitaktmotor der Firma Rotax eine komplette Neuheit am Markt darstellt, wurde eine wirtschaftliche sowie technische Einordnung erstellt. Dabei wurden 45 Zweitaktmotoren jeglicher Kubikklassen sowie jeglicher Endverwendung analysiert und grafisch dargestellt. Die Bandbreite reicht dabei von schnelllaufenden Modelbaumotoren mit einem Hubraum von wenigen ccm^3 bis hin zu langsamlaufenden Zweitakt Dieselmotoren im Schiffsbau mit Hubräumen von bis zu 27000 l. Die technische Einordnung wurde dabei speziell über motorspezifische Kennwerte erstellt, um klare Vergleiche aus den Grafiken zu erhalten. Schlussendlich lieferte diese Bachelorarbeit einen Beitrag zu dem am Markt eingeführten 850 E-TEC Turbo.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit dem 850 E-TEC Turbo können die auf den Luftdruck bezogenen Leistungsverluste gänzlich ausgeglichen werden und es wird ein vollkommen neues Fahrerlebnis im Höhenbetrieb ermöglicht. Abbildung 2 zeigt den Leistungsverlauf des 850 E-TEC Turbo bei verschiedenen Luftdrücken. Durch die Aufladung mussten dabei keinerlei Kompromisse eingegangen werden. Emissionen sowie Kraftstoffverbrauch des entwickelten Motors liegen hierbei im Bereich eines konventionellen Viertaktmotors und erfüllen jegliche gesetzliche Norm. Das Projekt 850 E-TEC Turbo zeigte, dass die Potentiale des Zweitaktmotors noch nicht vollkommen ausgeschöpft sind. Neue Entwicklungen in der Motorenbranche tragen dazu bei, die „Vorurteile“ des Zweitaktmotors zu beseitigen und ermöglichen neue Varianten zum Antrieb von Fortbewegungsmitteln. Diese Arbeit soll als Grundstein für die Weiterentwicklung des bereits in Vergessenheit geratenen Zweitaktmotors dienen.

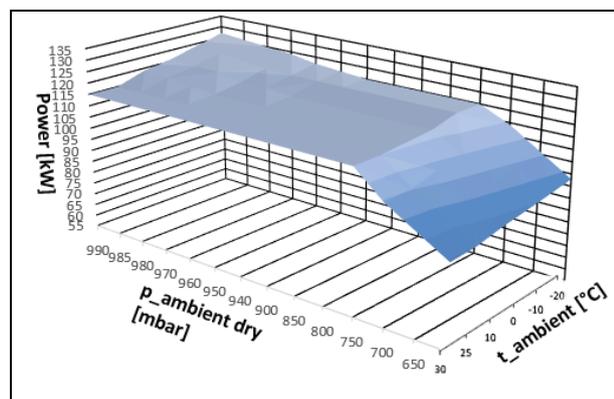


Abb. 2: 850-E-TEC Turbo Leistungsverlauf über den Luftdruck

FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG UND VIRTUELLE INBETRIEBNAHME MITTELS „MECHATRONICS CONCEPT DESIGNER“

Florian Stangl

Kurzfassung: Die Entwicklungsfehler bei komplexen Handhabungseinrichtungen oder Anlagen wirken sich erst im realen Testlauf aus. Aufgrund dieser Fehler müssen Elemente neu konzipiert, entwickelt, gefertigt und getestet werden, was zu hohen finanziellen Kosten führen kann. Um diese Kosten zu verhindern, besteht die Möglichkeit, entwickelte Systeme anhand von Softwaretools zu simulieren und virtuell in Betrieb zu nehmen. Anhand einer theoretischen Aufarbeitung der virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) und eines praktischen Beispiels sollen Vorteile einer VIBN und die Unterstützungsmöglichkeit in der Konzeptphase abgeleitet bzw. untersucht werden.

Schlüsselwörter: MCD, Simulation, virtuelle Inbetriebnahme.

1. EINLEITUNG

Durch einen stetig steigenden Grad an automatisierten Prozessen steigt auch der Komplexitätsgrad der entwickelten Lösungen. Deren Grundvoraussetzungen sind Prozessstabilität oder beispielsweise die maximale Durchsatzzahl von Handhabungsobjekten. In der Konzeptphase bzw. Entwicklungsphase entstandene Fehler treten häufig erst bei physischer Montage oder Inbetriebnahme auf. Damit verbundene hohe wirtschaftliche Aufwände sind dabei unumgänglich. Anhand der virtuellen Inbetriebnahme und der physikalischen Prozesssimulation ist es möglich, jene wirtschaftlichen Kosten stark zu verringern oder zu verhindern. Ein anerkanntes Softwaretool um virtuelle Inbetriebnahmen oder Prozessabläufe zu simulieren ist der „Mechatronics Concept Designer“ (MCD). Mittels dem MCD wird im Rahmen einer Prozessentwicklung das physikalische Verhalten eines Funktionselementes einer Handhabungseinrichtung welche als Vorgabe dient, modelliert und simuliert. Das Ziel der Bachelorarbeit ist es, anhand einer Prozessentwicklung das physikalische Verhalten des Funktionselementes der Handhabungsrichtung mittels MCD zu modellieren, zu simulieren, zu validieren und Vorteile der virtuellen Inbetriebnahme bzw. Vorteile des Softwaretools MCD in der Konzeptphase abzuleiten.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Kernfragen der Bachelorarbeit beziehen sich im theoretischen Teil auf den Eingliederungsprozess der virtuellen Inbetriebnahme in der Entwicklungsphase bzw. im praktischen Teil darauf, wie physikalische Eigenschaften modelliert und anschließend validiert werden können, um ein hinreichend genaues Modell zu generieren. Als Problemstellung im theoretischen Teil kristallisiert sich die Komplexität der Implementierung der Virtuellen Inbetriebnahme heraus, da Entwicklungsmethoden und deren Organisation in der Entwicklungsphase teilweise auf jene Implementierung angepasst werden müssen. Die Problemstellung im praktischen Teil der Bachelorarbeit beläuft sich auf die hinreichend genaue Modellierung der Ausgangssituation des Konzeptes, der

Parameterfindung, der Entwicklung bzw. Simulation und der Validierung des resultierten Funktionselementes.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Im einleitenden Kapitel werden die Idee und das Ziel der virtuellen Inbetriebnahme beschrieben und aufgezeigt. Der Grundbegriff „virtuelle Inbetriebnahme“ beschreibt die Simulation eines Prozesses, welcher durch eine virtuelle Anlage oder einer virtuellen Maschine abgebildet wird. Das Hauptziel der virtuellen Inbetriebnahme ist das Verringern von Inbetriebnahmezeiten und auftretenden Fehlern bei realer Inbetriebnahme durch Vorabsimulationen anhand von virtuellen Modellen. Der Idee der virtuellen Inbetriebnahme liegt, wie in Abb. 1 dargestellt ist, ein Modellierungsaufwand im Entwicklungszeitraum zugrunde. Aufbauend darauf ist es möglich, das Simulationsmodell frühzeitig virtuell schrittweise zu testen bzw. virtuell in Betrieb zu nehmen. Die Funktionalität der entwickelten Elemente kann dadurch frühzeitig validiert werden.

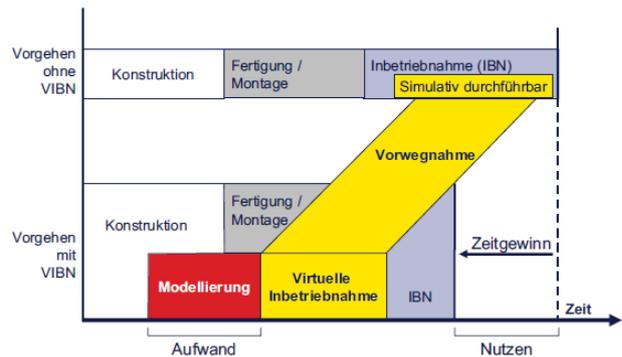


Abb. 1: Grundlegendes Prinzip der virtuellen Inbetriebnahme
Quelle: Wunsch (2007)

Laut dem GMA (Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik) Fachausschuss (FA) 6.11 entstehen zusätzliche Vorteile der VIBN. Zum einen werden Risiken für Mensch und Umwelt verringert, da im Vorfeld virtuell getestet wird. Zum anderen ist möglich, in der VIBN Service-, Wartungs- und Erweiterungsarbeiten zu simulieren, um Stillstandzeiten so gering wie möglich zu halten. Bei erstmaliger Einführung einer VIBN in die Organisation oder in ein Projekt empfiehlt es sich, vorab Teilziele zu definieren, welche die Einführung der VIBN auf Sinnhaftigkeit, Wirtschaftlichkeit und Effektivität untersuchen. (Wunsch 2007)

Im darauffolgenden Kapitel wird anhand eines Beispiels näher auf die Nachbildung der physikalischen Eigenschaften mittels MCD eingegangen.

4. MCD ALS WERKZEUG IN DER KONZEPTPHASE

Als Beispiel für den praktischen Teil dient ein Konzept einer Handhabungseinrichtung (Abb.2), welche Zinkdruckgussteile in eine gewünschte Position orientiert.

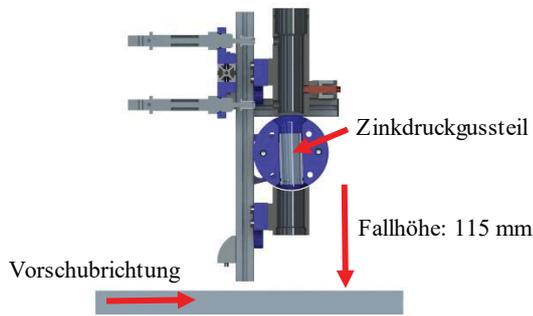


Abb.2: Schnittansicht der Handhabungseinrichtung Quelle: Eigene Darstellung

Hierbei gilt es ein Funktionselement zu modellieren und zu simulieren, welches bei aktivem Vorschub des Förderbandes garantiert, dass die Zinkdruckgussteile in vertikaler Position abtransportiert werden. Mittels MCD wird, wie in Abbildung 3 ersichtlich, ein vereinfachtes Simulationsmodell erstellt, welches die Ausgangssituation des Zinkdruckgussteils im Sinne des freien Falles auf die Förderbandebene repräsentiert. Anhand der Ausgangssituation ist es möglich, in kurzer Zeit



Abb.3: Ablauf des simulierten Ausgangsmodelles Quelle: Eigene Darstellung

unterschiedliche Lösungsansätze in die Simulationsumgebung des MCD einzubinden, mittels der physikbasierten Engine zu parametrisieren und anschließend auf Tauglichkeit zu testen. Aus einem iterativen Entwicklungsprozess resultiert, wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, ein Auffangtrichter mit implementiertem Zylinder, welcher das kontrollierte Platzen des Zinkdruckgussteiles ermöglicht.

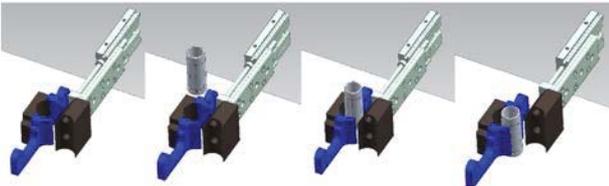


Abb.4: Prozessschritte des entwickelten Funktionselementes Quelle: Eigene Darstellung

Anhand des resultierten Funktionselementes ist es möglich, den kompletten Prozess der Handhabungseinrichtung zu simulieren und anschließend eine virtuelle Inbetriebnahme der Handhabungseinrichtung durchzuführen.

AUTOR



Florian Stangl, BSc

FH CAMPUS 02, Körblergasse 126, 8010 Graz, +43 316 6002-633, florian.stangl@campus02.at

Ausbildung: Lehre Maschinenbautechniker Liebherr-Werk Telfs GmbH (2005), Meisterkurs Metalltechnik für Metall- und Maschinenbau Berufsbegleitend (2013), HAK Innsbruck/WIFI Innsbruck Berufsbegleitend (2015) FH CAMPUS 02 Bachelorstudium Automatisierungstechnik Berufsbegleitend (2017)

Berufserfahrung: 2005-2016 Liebherr-Werk Telfs GmbH, seit 2017 Studien- und Projektassistent FH CAMPUS02

5. ERGEBNISSE

Der Mechatronics Concept Designer ist ein sinnvolles Werkzeug, um in der Konzeptphase bereits konzeptionierte Elemente auf physikalisches Verhalten zu untersuchen. Hierbei gilt es jedoch, Faktoren wie den Zeitaufwand für die Ausgangsmoellerstellung, zu berücksichtigen. Vor allem wirkt sich der eingebrachte Aufwand nicht sofort positiv auf die Entwicklung aus, da nur eine Validierungsmöglichkeit für Neuentwicklungen geschaffen wurde. Abhängig vom Detaillierungsgrad der Simulation entstehen Zusatzaufwände wie Materialversuche oder Prototypenaufbauten, welche die Ausgangsmoellerstellung belasten. Jene Faktoren sind ein häufiger Grund für Fehleinschätzungen in Bezug auf Entwicklungsgeschwindigkeit oder Kosteneinsparungen, da voll parametrisierte Modelle in einer Virtuellen Inbetriebnahme natürlich den „Realfall“ hinreichend genau abbilden sollten. Besonders effektiv ist das Softwaretool, wenn das fertige Ausgangsmodell wie am Beispiel des freien Falles auf die Förderbandebene erstellt ist und die Testphase der Konzeptideen beginnt. Hierbei ist es möglich, in relativ kurzer Zeit viele Lösungsvorschläge physikalisch zu untersuchen, Abläufe darzustellen, Schwachstellen in der Logik zu evaluieren und Lösungsvorschläge gegenüberzustellen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann anhand der erhaltenen Informationen aus der theoretischen Aufarbeitung des Themas und dem praktischen Beispiel gesagt werden, dass die wesentlichen Vorteile wie frühzeitige Fehlererkennung von Systemabläufen oder Prozessschritten für eine virtuelle Inbetriebnahme sprechen.

Wie die weiteren Entwicklungen bezüglich VIBN verlaufen, gilt es mit Spannung zu verfolgen, da sich definitiv interessante Tätigkeitsfelder für die Technologie der VIBN eröffnen. Beispielhalber wird die Einbindung der VIBN-Technologie im Ausbildungsbereich genannt, in welchem digitale Schulungssysteme von Anlagen oder Maschinen als Teststationen zur Verfügung gestellt werden. Es ergeben sich daraus didaktische Lehrmodelle, welche mit herkömmlichen Technologien nur sehr aufwändig bis gar nicht realisierbar sind.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Wünsch, G., 2007. *Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme*, Herbert Utz Verlag, München

Barth, M. et al., 2017. *Workflow zur Einführung der Virtuellen Inbetriebnahme im Engineering von Automatisierungssystemen - Weiterführung der Richtlinienarbeit des GMA FA 6.11*, in: 6.11, GMA (Hrsg.): GMA Fauchausschuss, S. 1-11, Baden-Baden

FH CAMPUS 02: OPTISCHE STÖRKONTURERKENNUNG FÜR EIN FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEM

Sebastian Toda

Kurzfassung: Fahrerlose Transportsysteme werden immer häufiger in der Logistik und der Produktion eingesetzt. Die Herausforderung an diese Fahrzeuge besteht darin, sie in den Werksverkehr einzubeziehen und zu betreiben, ohne dabei andere Fahrzeuge oder Abläufe zu behindern. Für diese Aufgabe ist eine Überwachung der Umgebung von einzelnen Transportfahrzeugen aus notwendig, die nicht nur den Fahrweg abdecken soll, sondern auch ein größeres Umfeld vor dem Fahrzeug. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird in dieser Arbeit eine Störkonturerkennung für fahrerlose Transportsysteme entwickelt. Ziel dabei ist, den kritischen Bereich des Fahrweges abhängig von der Geschwindigkeit überwachen zu können und im Falle einer Verletzung des Bereichs eine Warnung auszugeben. Das Ergebnis der Arbeit ist eine Software, die eine Anbindung einer TOF-Kamera erlaubt und deren Messdaten auswertet. Ein Algorithmus überprüft zudem die einzelnen Messpunkte auf ihre Zuverlässigkeit sowie deren Position im Raum. Bei Erkennung eines Objektes im kritischen Bereich wird eine Warnung an die Steuerung des FTS gesendet, um vor einer möglichen Kollision zu warnen. Mit dieser Störkonturerkennung sollen FTS künftig in der Lage sein, ein größeres Umfeld zu überwachen, um rechtzeitig auf Hindernisse reagieren zu können.

Schlüsselwörter: Fahrerloses Transportsystem, TOF-Kamera, Messdatenauswertung, Störkonturerkennung, Maschinensicherheit.

1. EINLEITUNG

Mit der Automatisierung vieler Prozesse in der Logistik und der Produktion steigt auch die Nachfrage nach autonomen Transportsystemen. Diese sollen die Arbeiter entlasten und ihnen die Möglichkeit bieten, sich auf komplexere Aufgaben zu konzentrieren. Das fahrerlose Transportsystem (FTS) stellt dabei das Bindeglied zwischen verschiedenen Prozessen, Lager und Produktionslinien, oder einfach mehreren Stationen dar. Um ein FTS in einer Industrieumgebung fahren lassen zu können, ist eine Vielzahl an Sensoren am Fahrzeug notwendig. Diese Sensoren ermöglichen die Navigation in einer bekannten Umgebung und gewährleisten Personensicherheit. Ein sicherheitsgerichteter Laserscanner überwacht den Fahrweg des FTS und löst in gefährlichen Situationen einen Nothalt aus. Um den reduzierten Erkennungsbereich des Laserscanners zu minimieren, wird auf das Prinzip der Sensorfusion gesetzt. Dafür wird eine TOF-Kamera in das System eingebunden, die den Fahrweg des FTS dreidimensional überwacht. Ziel dieser Arbeit ist die Umsetzung einer eigenständigen Störkonturerkennung, die in weiterer Folge in das bestehende FTS integriert werden kann. Diese Störkonturerkennung beinhaltet das Auslesen und Auswerten der Messdaten aus der TOF-Kamera sowie die Detektion von Objekten im Fahrweg und die Ausgabe einer entsprechenden Warnung. Durch diese Sensorfusion kann neben der Personensicherheit auch die Maschinensicherheit gewährleistet werden.



Abb. 1: RAMVoS 600 (RAMVoS GmbH 2020)

Als Referenz zur Umsetzung der Arbeit wird ein FTS der Firma RAMVoS Motion GmbH hinzugezogen (siehe Abb. 1). Anhand dieses FTS wird der Aufbau der Störkonturerkennung und Vernetzung mit anderen Systemen im Fahrzeug dargestellt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Ein FTS ist mit zwei Laserscannern ausgestattet, wobei ein Laserscanner auf der Vorderseite und einer auf der Rückseite montiert ist. Diese Laserscanner überwachen den Fahrweg des FTS und geben eine Warnung aus, wenn sich ein Hindernis vor dem Fahrzeug befindet. Der Nachteil dieses Systems ist jedoch, dass der Laserscanner in einer Höhe von rund 15 cm über dem Boden die Umgebung überwacht. Dadurch können Personen, Fahrzeuge, Wände und andere Hindernisse ausgemacht werden. Anders sieht es allerdings bei Objekten aus, die nicht in dieser Ebene liegen. Solche Hindernisse, wie zum Beispiel Gabelzinken oder Gegenstände, die an einem Kran hängen, werden nicht erkannt und es kann zu einer Kollision kommen. Um derartige Kollisionen vermeiden zu können, wird ein System benötigt, das den Fahrweg des FTS dreidimensional überwacht und das Lichtraumprofil des FTS abdeckt.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zu Beginn wird das Prinzip der Laufzeitmessung und die Funktionsweise einer TOF-Kamera näher erläutert, da diese als Grundlage für die Störkonturerkennung dient. Im Anschluss wird auf die Messdatenübertragung und die Software der Störkonturerkennung eingegangen. Bei der Laufzeitmessung, in der Messtechnik auch bekannt als Time-Of-Flight (TOF), handelt es sich um eine berührungsfreie Distanzmessmethode, bei der ein Impuls vom Sensor abgestrahlt und vom Objekt reflektiert wird. Der zurückgeworfene Impuls wird vom Sensor erfasst und über die Laufzeit die Distanz zum Objekt errechnet (Kapp 2007).

$$s = \frac{c_0 \cdot t}{2}$$

Die Berechnung der Distanz wird in der obenstehenden Formel verdeutlicht und ist abhängig vom Medium, welches für die Laufzeitmessung verwendet wird.

Für diese Arbeit wird die TOF-Kamera *CamBoard pico flexx* der Firma *pmdtechnologies* verwendet. Dieses Kamerasystem verfügt neben der Kamera noch über eine zusätzliche Lichtquelle. Mit dieser wird ein gebündelter, pulsierender Lichtstrahl ausgeschiedet und von den umgebenden Objekten reflektiert. Der Empfänger fängt die zurückgeworfenen Lichtstrahlen wieder ein und erstellt ein zweidimensionales Bild in Graustufen. Zusätzlich wird die Laufzeit des Lichtes gemessen, in dem die Lichtintensität über eine gewisse Zeit integriert wird. Dadurch können die Informationen über das Licht, die der Empfänger verarbeitet, sofort weiterverwendet werden. Über die Laufzeitmessung wird die Tiefeninformation zu jedem Pixel berechnet (*messtech drives Automation* 2016). Auf der TOF-Kamera läuft eine eigens von *pmdtechnologies* entwickelte Software namens *Royale SDK*. Diese sendet die Messdaten zyklisch über eine USB-Schnittstelle an den Rechner. Die Software für die Störkonturerkennung wird mit *Visual Studio* von Microsoft in der Programmiersprache *C-Sharp (C#)* programmiert. Mit einer Bibliothek wird die TOF-Kamera in die Störkonturerkennung eingebunden. Die Kommunikation zwischen der Störkonturerkennung und der Steuerung des FTS findet über *ModbusTCP* statt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

In der ersten Phase der Umsetzung werden zwei Konzepte erarbeitet, die die Umsetzung der Störkonturerkennung ermöglichen. Die beiden Konzepte unterscheiden sich vor allem beim Empfänger der Warnung vor Hindernissen. Während im ersten Konzept die Steuerung des FTS über ein Hindernis im Fahrweg informiert wird, wird im zweiten Konzept direkt eine Warnung an die Navigationssoftware geschickt. In dieser Arbeit wird die erste Variante umgesetzt, da mit dieser die Herstellerunabhängigkeit von der Navigationssoftware weiterhin gegeben ist. In der zweiten Phase gilt es das ausgearbeitete Konzept umzusetzen. Dazu wird die Kamera wie in Punkt 3 beschrieben in die Software eingebunden. Ein Algorithmus überprüft, ob die empfangenen Messdaten außerhalb der definierten Grenzen liegen und somit außerhalb des Fahrwegs. Die Grenzen für den sogenannten „kritischen Bereich“ werden in einem Parameterfile hinterlegt und können vom Anwender nach Bedarf angepasst werden. Der kritische Bereich ist zudem geschwindigkeitsabhängig, da bei höherer Geschwindigkeit früher auf ein Hindernis reagiert werden muss. In der letzten Phase wird die Schnittstelle zwischen der Störkonturerkennung und der Steuerung des FTS umgesetzt. Hauptbestandteil ist die Übertragung der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit in der einen Richtung und die Ausgabe einer Warnung vor einem Hindernis in der anderen Richtung.

5. ERGEBNISSE

Das Ergebnis der Arbeit ist ein System, mit dem Hindernisse im Fahrweg des FTS detektiert werden können.

AUTOR



Sebastian Toda, BSc

charismaTec OG; Schmiedlstraße 16, 8042 Graz
Tel: +43 664 88179457, Mail: sebastian.toda@charismatec.at

2011: HTL 3 Rennweg, Mechatronik und Automatisierungstechnik; 2017: Systemingenieur bei charismaTec OG; 2017: FH CAMPUS 02, Bachelorstudium Automatisierungstechnik Berufsbegleitend

Dazu werden die Messdaten der TOF-Kamera verarbeitet und mit einem Algorithmus ausgewertet.

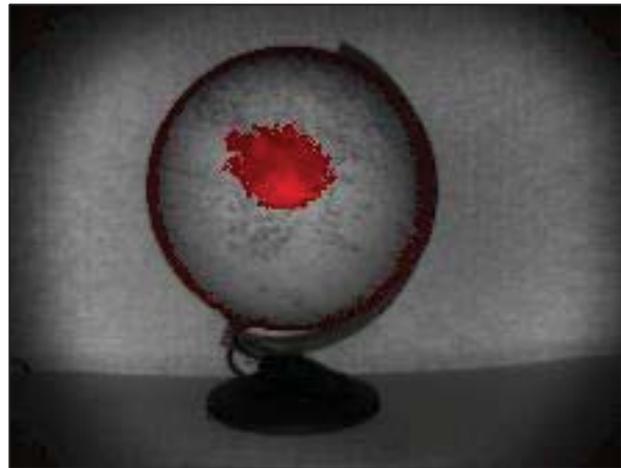


Abb. 2: Grafische Darstellung der Auswertung der Messdaten

In Abb. 2 ist zur besseren Veranschaulichung die Auswertung der Messdaten anhand eines Globus grafisch dargestellt. Jene Punkte, die sich im kritischen Bereich befinden, sind farblich in Rot gekennzeichnet.

Der rote Rand des Globus ist, da der Globus eine Kugel darstellt, durch eine Messungenauigkeit zu erklären. In diesem Bereich weisen die Messdaten eine niedrige Verlässlichkeit auf und sind daher als kritisch einzustufen (Worst Case).

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit Hilfe einer TOF-Kamera ist eine Störkonturerkennung für ein FTS entwickelt worden, die den Fahrweg des Fahrzeugs überwacht. Wenn sich ein Hindernis im kritischen Bereich befindet wird eine entsprechende Warnung an die Steuerung gesendet und das FTS hält an. Dadurch können Kollisionen in Zukunft vermieden werden.

Die Störkonturerkennung wird zurzeit in Feldversuchen getestet und in naher Zukunft als wichtiger Bestandteil der Maschinensicherheit in das FTS integriert.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Kapp A., 2007. *Ein Beitrag zur Verbesserung und Erweiterung der Lidar-Signalverarbeitung für Fahrzeuge*, Universitätsverlag Karlsruhe, ISBN 978-3-86644-174-3, Karlsruhe

Messtech drives Automation, 2016. Time-of-Flight-Kameras vereinen 2D- und 3D-Bild in einer Aufnahme, Available from: <https://www.md-automation.de/themen/automation/time-flight-kameras-vereinen-2d-und-3d-bild-einer-aufnahme>, Accessed: 2020-04-25

Nominierungen „Beste Masterarbeit 2020“

DYNAMISCHES AUSWUCHTEN VON TURBINEN-STRAHLTRIEBWERKEN KLEINER BAUFORM

Daniel Abram, B.Sc, M.Sc

Kurzfassung: Das Auswuchten von Rotoren ist speziell im Triebwerksbau unabdingbar, um Schwingungen zu vermindern und so die Lebensdauer und Laufruhe der Systeme zu erhöhen. Strahltriebwerke für den Modellflugzeugbau stellen ein Nischenprodukt dar. Daher sind kommerzielle Auswuchtvorrichtungen nicht rentabel. Es wird eine Messvorrichtung entwickelt, die kostengünstiges und schnelles Auswuchten erlaubt, aber dennoch ausreichende Qualität liefert.

Bei dieser Art von Rotoren liegt ein dynamischer Unwuchtzustand vor. Mittels Analyse des Frequenzspektrums und der Korrelationsberechnung von Beschleunigungssignalen wird die vorliegende Unwucht extrahiert. Durch die Berechnung der Einflusszahlenmatrix ergibt sich eine Verknüpfung zwischen den Messgrößen und den Ausgleichsvektoren.

Versuchsmessungen an zwei Turbinentypen zeigen, dass die erforderliche Wuchtgüte erreicht wird. Der entwickelte Algorithmus und die Benutzeroberfläche ermöglichen ein zuverlässiges Auswuchten.

Ein Vergleich mit einem kommerziellen Messsystem ist ausständig.

Schlüsselwörter: Dynamische Unwucht, Korrelationsmessung, Einflusszahlenmatrix, Auswuchtvorrichtung, Rotor.

1. EINLEITUNG

Seit es rotierende Maschinen gibt, sind Unwuchten und deren Auswirkungen bekannt. Infolge des Unwuchtzustandes treten Schwingungen im System auf, die maßgeblich für eine kürzere Lebensdauer und Laufruhe verantwortlich sein können. Da diese Problematik weit verbreitet ist, gibt es ausführliche Lösungsansätze, wie in (MacCamhaoil), (Federn 2011) gezeigt. In den häufigsten Fällen ist es ausreichend, statische und dynamische Unwuchten zu berücksichtigen. Dabei wird von einem Rotor mit starrem Verhalten ausgegangen.

Auswuchtvorrichtungen sind in verschiedensten Bauformen und Größen erhältlich, wobei zwischen zwei wesentlichen Typen unterschieden wird. Bei kraftmessenden Messvorrichtungen erfolgt die Messung der Kraftreaktionen in den Auflagern der Rotoren, bei wegmessenden Vorrichtungen wird eine kinematische Größe erfasst. Eigenschaften dieser Systeme sind in (Federn 2011), (Schneider 2013), (Gasch 2002) erwähnt. Die hier vorgestellte Methode des Zwei-Ebenen-Wuchtens mit Einflusszahlenmatrix wird in (Hanish 2005) und (Gasch 2002) beschrieben. Weitere Methoden sind in (Federn 2011), (Rieger 1986), (Ehrich 1999) zu finden.

Das in dieser Arbeit entwickelte Auswucht-konzept wurde speziell auf Turbinen von Modellflugzeugen abgestimmt. Dabei soll es möglich sein, die Turbine in verschiedenen Stadien des Zusammenbaus zu wuchten. Es sollen sowohl Turbineneinzelteile, als auch fertig zusammengebaute Turbinen gewuchtet werden. Dies ist erforderlich, da sich der Unwuchtzustand während des Zusammenbaus ändern kann. Da es sich um Nischenprodukte handelt, sind kommerzielle Auswuchtvorrichtungen meist nicht rentabel. Diese Systeme sind für ein breites Anwendungsgebiet ausgelegt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Durch moderne Sensorik und einem geeigneten mechanischen Aufbau soll es möglich sein, geeignete Signale zur Bestimmung des Unwuchtzustandes eines Rotors kleiner Bauform zu erfassen. Mithilfe von geeigneten Berechnungsvorschriften können die für den Ausgleichsvorgang nötigen Parameter bestimmt werden. Die dazu nötigen Berechnungen, sowie die Aufzeichnung der Daten sollen in einer Applikation (App) implementiert werden. Der zu entwickelnde Prozess beschränkt sich auf das Wuchten von kleinen Rotoren. Speziell bei Turbinen im Modellflugzeugbau stellt das Wuchten eine Herausforderung für die Hersteller der Triebwerke dar. Durch den Vergleich der erreichten mit der zulässigen Restunwucht kann die Qualität der Triebwerke sichergestellt werden. Mit Messungen an verschiedenen Turbinentypen soll die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Auswuchtvorrichtung bewertet werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Bei einem Rotor mit starrem Verhalten liegt im Allgemeinen eine Unwuchtverteilung entlang der Rotationsachse vor, die nicht bekannt ist. Dieser Zustand führt bei einer Rotation des Rotors zu Schwingungen. Durch einen geeigneten mechanischen Aufbau und passender Sensorik können diese Schwingungen erfasst werden, siehe Abb. 1.

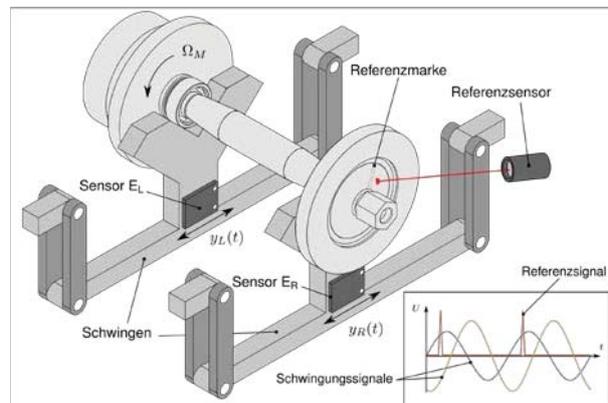


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Messsystems

Durch Korrelationsberechnung und Analyse des Frequenzspektrums werden Phase und Amplitude der Schwingungssignale in Bezug zu einem Referenzsignal ermittelt. Aus diesen Größen können die komplexen Messgrößen a gebildet werden. Aus den Fliehkraftbilanzen um die beiden Lagerpunkte des Rotors ergibt sich die komplexe, vektorwertige Wuchtforderung des Zwei-Ebenen-Wuchtens

$$a_{j+1} = a_j + E_{(\Omega)} q.$$

Diese Gleichung besagt, dass die neuen Messgrößen a_{j+1} aus den bereits gemessenen Messgrößen a_j und den

Messgrößen $E_{(\Omega)} \mathbf{q}$ gebildet werden. Die Einflusszahlenmatrix $E_{(\Omega)}$ beschreibt dabei den Zusammenhang zwischen den Messgrößen und den Ausgleichsvektoren \mathbf{q} und beinhaltet Parameter wie Dämpfung, Steifigkeit und geometrische Abmessungen des Systems. Die frequenzabhängige Einflusszahlenmatrix ist in der Regel unbekannt und muss durch Testläufe mit bekannten Unwuchten ermittelt werden (Gasch 2002). Die Ausgleichsvektoren \mathbf{q} werden durch die Ausgleichsmasse und dem Ort der Massen in Bezug zu einer Referenz am Rotor gebildet.

3.1 Signalerfassung

Zur Signalerfassung dient ein System aus zwei kapazitiven Beschleunigungssensoren und einem digitalen Lichtleitersensor zur Referenzmarkenerfassung. Die Daten werden mit der Messkarte NI USB-6002 aufgezeichnet. Die Implementierung der App für die gesamten Messvorgänge und die Berechnung der Ausgleichsgrößen erfolgt in Matlab. In Tab. 1 sind die wichtigsten Kenngrößen des Messsystems zusammengefasst.

Datenerfassung NI USB-6002	
Maximale Abtastrate	50 kHz
Messbereich	± 10 V
Analog-Digital-Wandler	14 Bit
Beschleunigungsaufnehmer KAS901-54	
Sensitivität	1.2 V g^{-1}
Messbereich	$\pm 1.7 \text{ g}$
Ausgangsspannung	0.5-4.5 V
Lichtleitersensor FU-35FZ mit Linse F-6HA	
Versorgungsspannung	12-36 V
Digitales Signal	0-1.1 V

Tab. 1: Wichtige Kenngrößen des Messsystems

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Um das Messsystem zu validieren, wurden die zwei Turbinentypen FT180 und FT220 der Firma Frank Turbine gewuchtet. Die festgelegte Wuchtfrequenz liegt bei 32 Hz mit einer Aufnahmedauer von 10 s und einer Abtastfrequenz von 8 kHz für die einzelnen Messungen. Um den Rotor in Rotation zu versetzen, wird das Schaufelrad der Turbine mittels Druckluft angeströmt. Die Frequenzauflösung in den Spektren wird zu 0.03 Hz gewählt. Die Testmasse wird auf 288 mg für beide Turbinentypen festgelegt. Die aus DIN ISO 21940-14 gewählte Wuchtgüte G6.3 führt zu der zugelassenen Restunwucht von 0.074 g mm in beiden Lagerebenen.

5. ERGEBNISSE

Die Genauigkeit und Qualität der Auswuchtvorgänge wird zwischen zwei Wuchtvorgängen bewertet. In Abb. 2 sind die Auswuchtgrößen der einzelnen Wuchtvorgänge für den Turbinentyp FT180 dargestellt.

AUTOR



Daniel Abram, B.Sc, M.Sc

d.abram@mci4me.at

studiert am Studiengang Mechatronik/Maschinenbau am MCI Innsbruck/Österreich. Seine Interessen liegen in der Analyse von mechanischen Systemen durch die experimentelle Modalanalyse, in der Maschinendynamik und im Bereich von FDM-3D Druck.

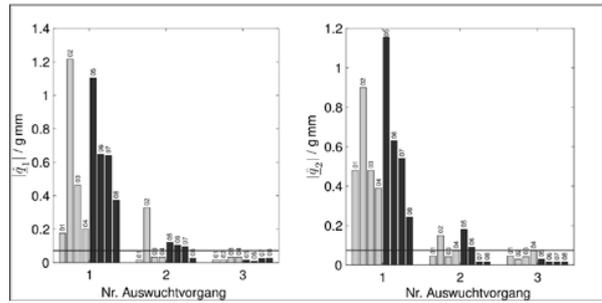


Abb. 2: Verlauf der Wuchtgrößen in E_L (links) und E_R (rechts) für die Versuchsmessungen mit dem Turbinentyp FT180

Es zeigt sich nach dem ersten Wuchtvorgang eine durchschnittliche Reduktion der Auswuchtgrößen von 85.2% in der linken Ausgleichsebene und um 86.6% in der Ebene E_R . Die Unwuchten konnten insgesamt im Durchschnitt um 91.6% in E_L und um 90.0% in E_R reduziert werden. Bei den Versuchsmessungen für den Turbinentyp FT220 konnte ein vergleichbares Ergebnis erzielt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Ziel der Arbeit, ein Messsystem zum akkuraten und schnellen Wuchten zu entwickeln, konnte erreicht werden. Ein nicht unwesentlicher Aspekt bildet dabei die Interaktion mit dem Benutzer. Bei unerfahrenen Benutzern sollte die Anzeige der Ausgleichsgrößen und die Bedienung so einfach wie möglich gestaltet werden. Dies bedeutet einen nicht unwesentlichen Mehraufwand in der Programmierung der Benutzeroberfläche. Durch die Wahl der weichen Lagerung im mechanischen Aufbau der Auswuchtvorrichtung kann auf eine kostenintensive Sensorik verzichtet werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Ehrich, F., 1999, *Handbook of Rotordynamics*, Malabar, Krieger Pub.
- Federn, K., 2011. *Auswuchttechnik*, Springer Berlin Heidelberg, 978-3-642-17236-6
- Gasch, R., 2002. *Rotordynamik*, Springer-Verlag GmbH, 3-540-41240-9
- Hanish, G., 2005. Investigation of the Influence Coefficient Method for Balancing of Flexible Rotors Systems, Ph.D dissertation, Northumbria University
- MacCamhaoil, H. *Brüel & Kjaer Application Notes: Static and Dynamic Balancing*.
- Rieger, N.; N. R. L. U. T. I. Division, Shock, and V. I. Center, 1986. *Balancing of rigid and flexible rotors*, Shock and Vibration Information Center, U.S. Dept. of Defense
- Schneider, H., 2013. *Auswuchttechnik*, Springer-Verlag GmbH, 978-3-642-24913-6

FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG EINES TESTSYSTEMS DURCH AUTOMATISCHE CODEGENERIERUNG

Assl, Christoph

Kurzfassung: LOGICDATA entwickelt APIs (Application Programming Interfaces) für die marktführenden Smartdevice Plattformen zur Steuerung von mechatronischen Systemen in der Möbelindustrie. Die Funktionalität dieser APIs muss durch Tests mit verschiedenen Eingabeparametern überprüft werden. Änderungen in der Implementierung der APIs während der Entwicklungs- und Testphase führen zu Wartungsaufwand des Testsystems, welcher manuell durchgeführt werden muss. Das führt zu längeren Testdurchlaufzeiten und zu Verzögerungen in der Freigabe-Phase des Projekts.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, anfallende Wartungstätigkeiten bei API-Änderungen während der Testphase zu automatisieren, um die Entwicklungszeit des Testsystems zu reduzieren. Zu diesem Zweck soll eine Codegenerierungsmethode ausgewählt werden, mit der Code in verschiedenen Programmiersprachen und Plattformen generiert werden kann. Dafür werden verschiedene Codegenerierungsmethoden hinsichtlich ihrer Eignung für diese Aufgabenstellung miteinander verglichen und eine Wahl getroffen. Aufbauend auf diese Entscheidung wird eine Softwarearchitektur eines Testsystems mit automatischer Codegenerierung entworfen. Nach Festlegung dieser werden der Codegenerator und die Softwarekomponenten des Testsystems entwickelt und die Vorteile hinsichtlich Entwicklungs-, Wartungsaufwand und Testdurchlaufzeit aufgezeigt.

Tests mit den ersten implementierten APIs haben gezeigt, dass der Einsatz der automatischen Codegenerierung zu einer höheren Codeflexibilität und niedrigerem Entwicklungsaufwand führt. Das Testsystem kann für die Verifikation zukünftiger API-Releases eingesetzt werden.

Schlüsselwörter: API, Codegenerierung, Android, iOS, Template-Engine

1. EINLEITUNG

APIs dienen als Schnittstellen zwischen Smartdevices und den Funktionen der Produkte von LOGICDATA. (Abb. 1) Die APIs ermöglichen dem User die Bedienung dieser über das Smartdevice. Die API-Libraries können an externe Entwickler und Entwicklerinnen beziehungsweise an Kunden und Kundinnen weitergegeben und in Android- und iOS-Apps zur Nutzung von LOGICDATA Produkten eingesetzt werden. Um die Funktionalität der APIs zu gewährleisten, werden manuelle und automatisierte Tests durchgeführt. Zusätzlich zu den APIs wird eine Dokumentation, die diese genauer beschreibt, vom Entwicklungsteam zur Verfügung gestellt. Mit diesen Informationen wird eine Test-Software mit grafischer Benutzeroberfläche erstellt, die es dem Tester oder der Testerin ermöglicht, die Eingabeparameter für die zu testenden API einzugeben sowie die Antworten auszulesen. Diese Software kommuniziert via JSON-RPC-Kommandos mit Test-Apps, die auf der jeweiligen Plattform laufen und welche die APIs der jeweiligen Plattform halten.

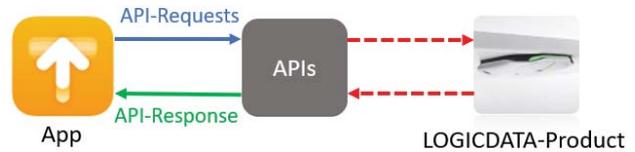


Abb. 1: Darstellung der Funktionsweise von APIs

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Für die Entwicklung des Test-Systems, mit der die Funktionalität der APIs überprüft werden soll, müssen vorab alle API-Parameter definiert und die Dokumentation dieser vollständig sein. Zusätzlich muss bei einer Änderung der APIs die Software jedes Mal angepasst werden, was vor allem im Freigabeprozess zu Verzögerungen führen kann. Aus diesem Grund soll im Zuge dieser Masterarbeit geprüft werden, inwieweit das Test-System, bestehend aus Test-Software und Test-Apps, automatisch generiert werden kann. Dafür wird vom Entwicklungsteam neben den APIs eine API-Dokumentation in einem kompakten Datenformat zur Verfügung gestellt. Mit diesen Informationen soll Code für Test-Software und die Test-Apps generiert werden. Hierfür sollen verschiedene Methoden der Codegenerierung untersucht und auf ihre Tauglichkeit beurteilt werden. Auf der Grundlage des resultierenden Konzeptes soll dieses Softwarevorhaben in die Praxis umgesetzt werden. Ziel dieser Arbeit ist, die Entwicklung des Test-Systems mit den vom Entwicklungsteam zur Verfügung gestellten Daten zu automatisieren.

Damit soll der Entwicklungs- bzw. Wartungsaufwand der Software und die zugrunde liegende Komplexität dieser verringert werden.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Das zentrale Element dieser Arbeit ist der Codegenerator. Die Aufgabe des Codegenerators ist es, die vom Entwicklungsteam übermittelte API-Dokumentation einzulesen und den Code für die Test-Apps sowie der Test-Software in der jeweiligen Programmiersprache zu generieren. Das erfordert einen hohen Grad an Flexibilität des Codegenerators. Darüber hinaus soll ein möglichst hoher Codegenerierungsanteil erreicht werden, um die Wartungsarbeiten am Test-System zwischen den Testschleifen so gering wie möglich zu halten. Dafür werden verschiedene Codegenerierungsmethoden evaluiert. Aufgrund der Tatsache, dass sich viele Codesequenzen in den generierten Files wiederholen, können diese Anforderungen mit Template-Engines am besten erfüllt werden. Dabei müssen vorab Templates in einer Template-Sprache entwickelt werden. Aus diesen plattformunabhängigen Templates und der API-Dokumentation im JSON-Format kann die Template-Engine ausführbaren Code generieren. (Abb. 2) Als Template-Engine wird FreeMarker gewählt, da es sich dabei um eine Open-Source-Lösung handelt, die alle Anforderungen für dieses Projekt erfüllt.

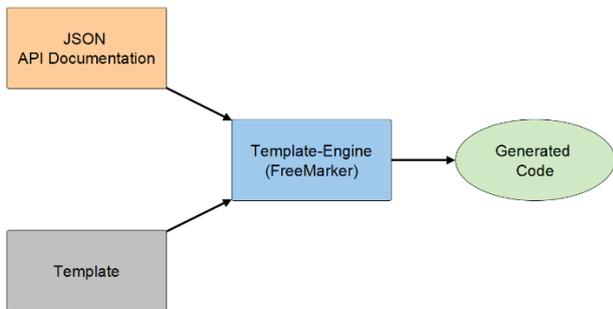


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Template-Systems

4. TEST-SYSTEM MIT AUTOMATISCHER CODEGENERIERUNG

Die entwickelte Architektur begünstigt es, große Teile des Test-Systems bereits vor Erhalt des ersten Release Candidates zu entwickeln. FreeMarker ermöglicht die Generierung von großen Teilen der Wrapper für die APIs sowie für die API-Facade, die von der Test-Software zur Herstellung der Kommunikation und zur Verarbeitung der eingehenden Datenströme genutzt wird. Da es sich bei der API-Facade und den Wrappern um Elemente handelt, die einem wiederkehrenden Muster folgen, kann bereits nachdem die grundlegende Struktur der APIs im Software-Team festgelegt wurde, auch auf Seiten des Integration Test Team mit der Entwicklung der Templates und der dazugehörigen Java Software begonnen werden. Dabei kann bereits vorab die Kommunikation zwischen Client und Server entwickelt werden, wobei dabei keine automatische Codegenerierung zum Einsatz kommt. Das Graphical User Interface der Test-Software basiert auf der JSON API-Dokumentation. Jedoch können die Klassen, die zur Generierung der Steuerelemente zur Laufzeit benötigt werden, bereits im Vorfeld implementiert werden. Nach Erhalt der Dokumentation müssen lediglich die JSON-Files in dem in der Software definierten Pfad abgelegt werden.

Nach Fertigentwicklung der APIs im Software-Team werden die Libraries sowie die .proto-File enthaltenen Datenstrukturen an das Integration Test Development Team übergeben. Die zur Kommunikation mit den APIs notwendigen Datenstrukturen werden aus den Protobuf Objekten für die jeweiligen Programmiersprachen generiert. Diese sowie die Library Files müssen in die jeweilige Test-App eingebunden und neu kompiliert werden.

Mit jeder neuen API-Version müssen lediglich die Libraries der jeweiligen Plattformen, die JSON-API-Dokumentation sowie die aus den Protocol Buffer File generierten Dateien ausgetauscht und neu kompiliert werden. Dadurch wird der eigentliche Entwicklungsaufwand während der Freigabephase auf ein Minimum reduziert und gleichzeitig die Fehlerwahrscheinlichkeit im Testsystem verringert.

In folgender Abbildung wird die Architektur des Testsystems mit automatischer Codegenerierung schematisch dargestellt:

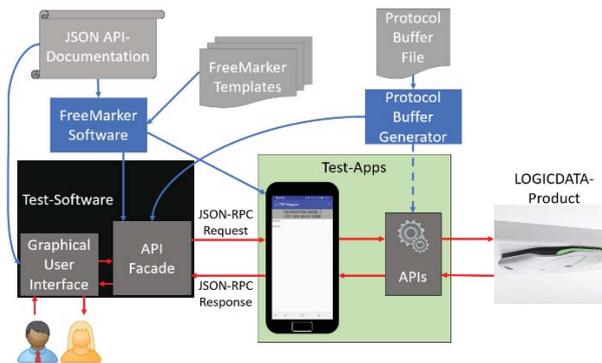


Abb. 3: Schematische Darstellung des Test-Systems

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Masterarbeit zeigt, wie der Einsatz von automatischer Codegenerierung bei der Implementierung bei sich ändernden Eingabedaten unterstützen und in weiterer Folge den Entwicklungs- und Wartungsaufwand verringern kann. Der Einsatz von Template-Engines, im Konkreten FreeMarker, erweist sich für diese Aufgabenstellung als richtige Wahl. Die generierten Files enthalten große Teile sich wiederholender Codesequenzen, die durch die Entwicklung von kompakten Templates einfach und schnell generiert werden können. Die initiale Entwicklungszeit konnte durch diese Optimierung im Vergleich mit, der des Testsystems ohne Codegenerierung um ungefähr 50% reduziert werden. Die größte Einsparung resultiert jedoch im Bereich des Wartungsaufwandes. Dadurch, dass nach Erhalt des neuen API-Release Candidates lediglich die Files ausgetauscht, Klassen neu generiert und die einzelnen Software-Projekte neu kompiliert werden müssen, reduziert sich der Wartungsaufwand auf wenige Minuten pro Testschleife.

Hinsichtlich der Usability gibt es nur sehr geringe Unterschiede zum Testsystem ohne Codegenerierung. Das bringt den Vorteil, dass sich die Testprozedur für den Tester und die Testerin nicht ändert und der Umstieg vom bestehenden auf das neue Testsystem einfach vollzogen werden kann. Die einzigen für den Endbenutzer und Endbenutzerin merkbaren Änderungen beziehen sich dabei auf die veränderte Benutzeroberfläche der Test-Software.

Automatische Codegenerierung ermöglicht durch seine Flexibilität ein breites Anwendungsspektrum. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse dieser Masterarbeit das große Potential zur Ressourceneinsparung auf. Aus diesem Grund sind bereits weitere Entwicklungsprojekte im Integration Test Team geplant, die auf Codegenerierungsmethoden zurückgreifen. Ein Bestreben ist es, den Codegenerierungsanteil sowie den Automatisierungsgrad noch weiter zu erhöhen und dadurch die Effizienz zu steigern.

AUTOR



Dipl.-Ing. Christoph Assl, BSc.

Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG, Liebenauer Hauptstraße 317, 8041 Graz,
christoph.assl@edu.campus02.at

Seit 2020: Test Manager EE, Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG • 2018-2020: Masterstudiengang Automatisierungstechnik-Wirtschaft FH Campus 02 • 2015-2018 Bachelorstudiengang Automatisierungstechnik FH Campus 02 • 2014-2020: Advanced Test Engineer, LOGICDATA Electronic & Software Entwicklungs GmbH

FH KÄRNTEN: DEVELOPMENT OF A SOFT ROBOTIC END EFFECTOR

Conrad, F.

Abstract: *The field soft robotics becomes increasingly relevant with respect to recent end effector developments for industrial robot arms. The possibilities to grip more complex and difficult shaped geometries with grippers out of compliant materials are promising. In this thesis a modular soft robotic end effector, which gets mounted to the collaborative robot arm Panda from Franka Emika, has been designed, developed, constructed and tested. The end effector advantage is to pick up irregular shapes and delicate objects.*

Keywords: *cobot, soft robotic, 3D printing, fused deposition modelling, ROS, end effector, flexible materials, gripper, tendon driven deformation concept, contact driven deformation concept (fin ray).*

1. INTRODUCTION

Worldwide the industrial production gets more and more automated. A key component in this race are industrial robot arms, which can be programmed to do repetitive and physically demanding tasks. The biggest industries, where industrial robots are used, are the automotive, electrical and electronic industry as well as the packing industry and the logistics sector. In these industries, the robot is programmed and equipped for one task only. The reason behind this is often a shop floor with a line production, where the product goes sequentially from one equipment to the next one. If one tool or equipment in the line fails, the whole workflow is stopped, which makes it important that the robots and its tools have a high mean time between failure. Industrial robots are also caged off in some sort of safety fencing or work in a separate area, where humans are not allowed to enter. These robots work on rigid objects with rigid end effectors.

The new generation of robots are so called cobots, which are designed to work with a human next to it. Cobot stands for collaborative robot. These cobots have more flexible application fields and can be easily programmed to a different task. These robots need to be equipped with end effectors, which can adapt to different environments and objects [1] very easily by using soft materials like silicone [2] or elastic polymers as well as being safe to be used with humans. These materials allow inaccuracies during online-testing of the robotic arm, where the end effector can absorb some amount of energy during a collision with the target object or the environment. Damage to the target object, the end-effector itself or the robot arm can be avoided this way.

2. TASK DESCRIPTION

The main goal of this thesis is to construct a fully functional gripper, which can be mounted to the 7-DoF robotic arm Panda from Franka Emika. A battery should power the gripper. The fingers and mechanism of the end effectors should be designed with fundamental principles of soft robotics. Nonrigid materials should be used, which are driven by electrical actuators. The control of the robotic arm and the gripper should be operating on the same software platform and there are a lot of papers

presenting ROS as a tool to support robot applications [3]. Although not a fully functional operating system like Windows or iOS, it enables the communications between the sensors, the actuators and a processing unit. The end effector should lift at least 1 kg of a cylindrical object or a sphere. The gripper should be a modular build so that the fingers can be rearranged into different positions. Fingers can be added or removed as wished and different concepts can be tested on the same main casing.

3. MATERIALS AND METHODS

The thesis includes two different concepts for grasping objects: contact driven deformation (CDD) and tendon driven deformation (TDD). This helps to define the best solution to grip irregular shapes and delicate objects. CDD uses gripping by actuation of external actuators, which deforms a passive fin ray structure once the target object is touched. The fin ray effect describes that fins of fish bend in the opposite direction of the exertion of pressure. This effect allows fish to move highly efficient through water and can also be applied to adaptive gripping tools by using two fin ray structures, which are mounted on moveable brackets facing each other.

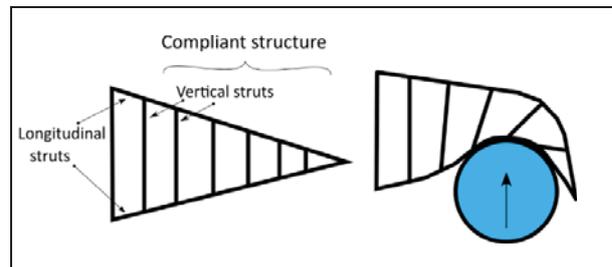


Fig. 1: Graphical representation of a fin ray finger [4]

TDD systems have taken inspiration from human fingers and are often used in humanoid robotic hands or grippers. They consist of several rigid links, which are connected to rigid hinges and actuated by a tendon. Instead of using rigid joints, it is also possible to use flexible material to connect the links with each other. This leads to a simpler and lighter design, where the flexible joint acts as spring and the finger returns to its initial position if the tendon is released. By pulling the tendon the finger deforms around the target object.

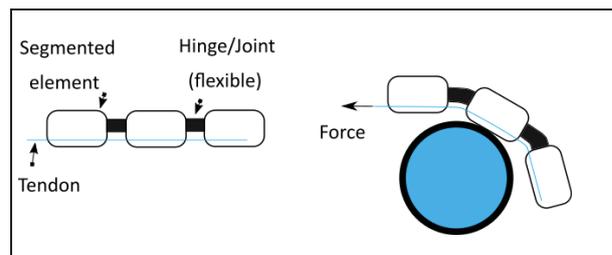


Fig. 2: Graphical representation of a tendon driven finger [4]

The casing, some mechanical components and the flexible parts of the gripper have been manufactured by an additive manufacturing method. The advantage is to produce prototyping parts cheaper and faster, if compared to a molding manufacturing process. In this project the 3D printer Ultimaker S3 has been used to create the main casing out of poly lactic acid (PLA) from the manufacturer Ultimaker. The flexible fin ray fingers consist of two different materials, thermoplastic polyurethane (TPU) and PLA, where the vertical struts are made from PLA and the longitudinal struts of the fin ray structure are TPU.

4. DESCRIPTION OF PRACTICAL TESTS

The end effector was designed in Fusion 360, with the goal to be modular, so the two different gripping concepts can be mounted and tested. Only the exchange part, the servo horn and the fingers need to be exchanged. The fingers of both concepts can be easily swapped with other fingers, made from different materials.



Fig. 3: Gripper design - Concept TDD (left); Concept CDD (right)

It is possible to change the positions of the fingers into a triangle formation or a cross formation with four fingers or just two across from each other.

In order to approximate gripping forces a formula has been derived. The general assumption is that the finger is rigid but has the surface of TPU.

$$F_{s_REQ} = \frac{x}{y} \cdot \frac{m \cdot (a + g)}{n \cdot \mu} \cdot S$$

It takes the mass of the target object m , the constant acceleration of gravitation g , the acceleration of the target object a , the safety factor S and the friction coefficient μ , the number of fingers n , the distance to the normal force x and the distance to the wanted input force y into account.

5. RESULTS

Different tests were carried out with the fin ray gripper attached to the panda to verify the specifications defined at the beginning of the project. The gripper was able to pick up a 1 kg bag of wheat, a 1L water bottle, apples, onions and a

screwdriver. It should be noted that thin objects need to be picked up with the tip of the finger, whereas wide objects need to be picked up on the middle of the finger. This increases the deformation of the fin ray finger and can lead to a formfitting grip around the target object. In Figure 4 it is shown how a plastic bottle filled with one liter of water is enclosed by the fingers and then brought into a desired position by the robotic arm. Afterwards it is put back into the initial position.



Fig. 4: Successful grip of a 1L bottle with the CDD concept

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

Soft grippers will extend the applications of robots to many areas in the future. Wherever objects with inconsistent geometries and soft properties are manipulated, this task can be achieved with soft grippers. Especially fruits, vegetables and other soft food types like bread or pastries could be handled without damaging the product. In this context, several tasks had to be fulfilled from the literature research of soft robotic grippers, the development of two different soft robotic gripper concepts on the modular casing, the calculations of the needed grip force to the end effector's gripping distance. Other milestones of this project were choosing electrical components and actuators for the task, designing the modular gripper in a CAD software, 3D printing the flexible and the rigid components of the gripper, assembling a functional prototype, installation and setup of ROS on the cobot PANDA, programming the microcontroller ESP32 to first practical tests with ordinary household objects. With the present thesis the basis for future tests with this gripper on the Carinthia University of Applied Sciences could be established.

7. REFERENCES

- [1] Marchese, A.D. & D. Rus, 2015. Autonomous object manipulation using a soft planar grasping manipulator. *Soft Robotics*, USA
- [2] Goh, J. C. H.; Nasrallah, F.; Lim, J. H. & Yeow, C. H., 2016. Characterisation and evaluation of soft elastomeric actuators for hand assistive and rehabilitation applications. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 40:4, pp. 199-209, ISBN 0309-1902
- [3] Sriram, M., 2017. An analysis on controlling humanoid robot arm using Robot Operating System (ROS). Middlesex University, London
- [4] Shintake, J.; Caccuciolo, V.; Floreano, D. & Shea, H., 2018. Soft robotic grippers, Available from: <https://doi.org/10.1-002/adma.201707035> Accessed: 2020-10-12

FELIX CONRAD



Felix Conrad B.Sc

Carinthian University of Applied Sciences, Europastraße 4, felix.conrad@gmx.at

Felix Conrad is a master student in Systems Design with the major Remote Systems at the Carinthia University of Applied Sciences. He holds a bachelor's degree in science and is currently working in Infineon as a test wafer coordinator.

FH CAMPUS WIEN: ARBEITSAUFTRAGSVISUALISIERUNG IN DER ELEKTRO-VORMONTAGE MITTELS LED-TECHNOLOGIE

Ebner, M.

Kurzfassung: Im Zuge dieser Arbeit wurde die Einführung eines Montageassistenzsystems in der Elektromontage einer Fahrzeugfertigung durch die Verwendung von Low-Cost Technologien behandelt, das eine LED-Visualisierung von Montageanweisungen anhand eines Barcode-Scans ermöglicht. Hierzu wurden die bei der Entwicklung eines derartigen Systems zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen nach einer Analyse des Ist-Prozesses literaturbasiert sowie mittels kollegialer Expertengespräche identifiziert, analysiert und als Quelle von Anforderungen für die prototypische Umsetzung herangezogen. Prototypentests sowie die nachfolgende Evaluierung zeigten, dass ausgewählte Low-Cost Technologien (z.B. programmierbare LED-Streifen, ein Arduino-Entwicklungsboard und Aluminium-Konstruktionsprofile) zur Realisierung eines anforderungsgerechten industriellen Assistenzsystems herangezogen werden können. Des Weiteren wurden Optimierungspotentiale unter den Gesichtspunkten von Serienreife und Skalierbarkeit auf der Basis des Nutzerfeedbacks sowie artverwandter Publikationen aufgezeigt sowie die Unterschiede im Vergleich zur herkömmlichen Arbeitsweise, d.h. die Abarbeitung von Arbeitsaufträgen ohne Montageassistenzsystem, erarbeitet.

Schlüsselwörter: Digitalisierung, LED-Visualisierung, Montageassistenz, Visuelle Assistenzsysteme, Werkerführung.

1. EINLEITUNG

Aktuell werden in der Elektromontage des gegenständlichen Unternehmens verschiedenartige Kabelbünde nach Informationen aus Einlegetlisten in Kabelkanäle von Fahrzeugen eingelegt. Dabei zeigt sich, dass Optimierungspotentiale hinsichtlich der benötigten Zeit für einen Fertigungsauftrag, der Fehleranzahl und damit auch der (Fehler-)Kosten gegeben sind.

Die Austrittsorte sowie die jeweils notwendigen Überlängen, welche z.B. für den Anschluss elektrischer Geräte nötig sind, stellen die wesentlichen Parameter dieses Einlegevorgangs dar. Dahingehend soll ein visuelles Assistenzsystem entwickelt und als Prototyp umgesetzt werden, das die Austrittsorte und Überlängen je Kabelbund nach einem Barcode-Scan mittels programmierbarer LEDs anzeigt. Im Allgemeinen werden Assistenzsysteme in manuellen Montageabläufen eingesetzt, die aufgrund ihrer Komplexität und der hohen Anzahl an Bauteilen nicht vollständig automatisiert werden können und hinsichtlich Qualität und Produktivität optimiert werden sollen. Auch die stetig zunehmende Variantenvielfalt von herzustellenden Produkten ist ein Grund dafür, dass alle Produkte eines spezifischen Auftrags individuelle Besonderheiten aufweisen und daher nicht vollständig automatisiert montiert bzw. gefertigt werden können (Manzei et al. 2017).

Als Neuigkeitswert dieser Arbeit ist insbesondere der Einsatz von Low-Cost Technologien zur Umsetzung eines industriellen Montageassistenzsystems in der Serienfertigung von Fahrzeugen hervorzuheben.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen dieser Arbeit galt es den Einsatz von Low-Cost Technologien zur Umsetzung eines anforderungsgerechten, visuellen Assistenzsystems in der Elektromontage zu evaluieren, was neben einer umfassenden Analyse des Ist-Prozesses eine literaturbasierte Ermittlung von zu beachtenden Rahmenbedingungen als theoretischen Grundstein erforderte. Zudem sollte untersucht werden, welche Optimierungspotentiale sich durch Prototypentests und eine nachfolgende Evaluierung ergeben, um Zielsetzungen wie Skalierbarkeit und Serienreife des digitalen Assistenzsystems unter Berücksichtigung eines flächendeckenden Einsatzes im Unternehmensumfeld zu erreichen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Nach der Analyse und Beschreibung des Ist-Prozesses wurden die Rahmenbedingungen und Anforderungen zur Einführung eines visuellen Montageassistenzsystems anhand artverwandter Publikationen und kollegialer Expertengespräche evaluiert. Im nächsten Schritt wurde die Konzeptionierung des Prototyps unter Low-Cost Gesichtspunkten sowie dessen Aufbau und Inbetriebnahme unterstützt. Nach der Absolvierung von Prototypentests im Zuge eines Pilotprojekts wurde der veränderte Zustand am Montagearbeitsplatz erhoben und der Prototyp hinsichtlich der technischen Anforderungen evaluiert. Als Abschluss der methodischen Vorgehensweise zur Arbeitserstellung ist die Ermittlung von Optimierungspotentialen anhand von Empirie und Theorie zur Erzielung von Serienreife und Skalierbarkeit des Montageassistenzsystems anzuführen (Unrau et al. 2016).

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Im theoretischen Anteil der Arbeit wurden essentielle Grundlagen zu Assistenzsystemen und deren Einführung in produzierenden Unternehmen auf der Basis artverwandter Publikationen erarbeitet. Beispielsweise wurde dabei eine Studie zum Potential digitaler Assistenzsysteme für produzierende Unternehmen betrachtet (Klapper et al. 2019).

Dieses theoretische Fundament wurde dazu genutzt, ausgewählte technische Systeme vorzustellen, die Menschen durch visuelle Signale bei ihren Arbeitsaufträgen unterstützen. Unter anderem wurde dabei ein an der Leuphana Universität Lüneburg entwickeltes Laser-Assistenzsystem betrachtet, um das ein Arbeitsplatz zur manuellen Montage erweitert wurde (Müller-Polyzou et al. 2019). Des Weiteren wurden lichtbasierte Systeme zur beleglosen Kommissionierung (Pick-by-Light- und Put-to-Light-Technologie) behandelt, um sich theoriegeleitet der praktischen Umsetzung eines Prototyps im gegenständlichen Unternehmensumfeld anzunähern.

Der analysierte Ist-Prozess wurde in Kombination mit den mittels Brainstorming und Literaturrecherche ermittelten Rahmenbedingungen (z.B. Einsatz von Low-Cost Technologien, Arbeitsplatzergonomie, technische Anforderungen, Arbeits-

sicherheit, Mitarbeiterakzeptanz und Hallenlayout) für die Formulierung von Systemanforderungen herangezogen. Folglich wurde ein theoretischer Vergleich potentiell geeigneter Assistenztechnologien durchgeführt, aus dem die LED-basierte Werkerführung als vielversprechendste Visualisierungstechnologie im konkreten Anwendungsfall hervorging.

Anschließend wurden Überlegungen zur konstruktiven Gestaltung des Assistenzsystems angestellt, welche im Besonderen die Verwendung herkömmlicher Aluminium-Konstruktionsprofile zur Realisierung des mechanischen Grundgerüsts umfassten. Auf der Grundlage einer rudimentären Systembeschreibung wurden die im Zuge der prototypischen Umsetzung verwendeten Systembestandteile ausgewählt. Im nächsten Schritt wurden Prototypentests im Rahmen eines Pilotprojekts durchgeführt, um eine Evaluierung hinsichtlich der technischen Systemanforderungen vorzunehmen und Optimierungspotentiale zu erkennen.

5. ERGEBNISSE

Prototypentests zeigten, dass die ausgewählten Low-Cost Technologien eine anforderungsgerechte Umsetzung eines industriellen Montageassistenzsystems ermöglichen. Die Einlegeinformationen eines jeden Kabelbunds, d.h. die Austrittsorte aus dem Kabelkanal sowie die jeweils notwendigen Überlängen, wurden durch die Anwendung zweier unterschiedlicher Farben visualisiert, welche mittels programmierbarer RGB-LEDs auf LED-Streifen angezeigt wurden (siehe Abb. 1).

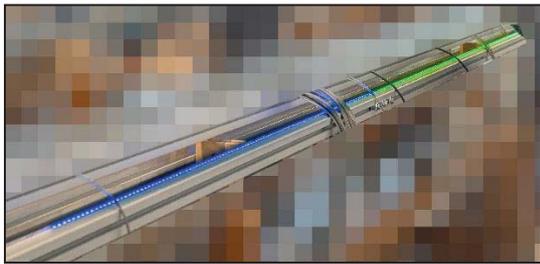


Abb. 1: Montageassistenzsystem zur Visualisierung von Arbeitsaufträgen in der Elektromontage

Abb. 2 zeigt ein rudimentäres Systemschaubild des Montageassistenzsystems, welches die wesentlichen Systembestandteile und -funktionalitäten verdeutlicht.

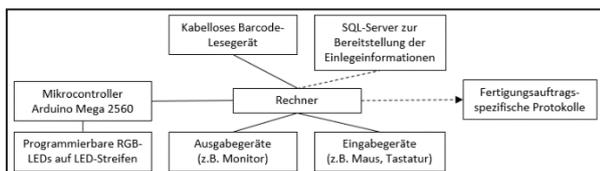


Abb. 2: Rudimentäres Systemschaubild des visuellen Montageassistenzsystems

AUTOR



Markus Ebner, MSc

Siemens Mobility Austria GmbH, Leberstraße 34, 1110 Wien, markus.ebner@siemens.com

Seit Juli 2018 in der technischen Projektabwicklung bei Siemens Mobility Austria GmbH tätig
 Masterstudium High Tech Manufacturing (2018 - 2020), Bachelorstudium High Tech Manufacturing (2015 - 2018)
 AHS-Matura am Goethe-Gymnasium Astgasse, 1140 Wien (2014)

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Interaktion mit dem Montageassistenzsystem die schrittweise Abarbeitung einer Einlegeliste als zentralen Bestandteil der betrachteten Montageaktivität obsolet macht.

Nutzerspezifische Systemanpassungen, automatisch generierte Prozesskennzahlen und die Anbringung mehrerer LED-Streifen an einer Montagevorrichtung stellen ausgewählte Optimierungspotentiale dar, die durch Mitarbeiterbefragungen und das Studium artverwandter Publikationen ermittelt wurden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Entwicklung und Einführung eines technischen Gesamtsystems zur Umsetzung eines visuellen Assistenzsystems in der Elektromontage einer Fahrzeugfertigung behandelt, das eine LED-basierte Visualisierung von Arbeitsaufträgen ermöglicht. Des Weiteren wurden Optimierungspotentiale aufgezeigt, die den Weg zur Serienreife des Systems sowie dessen Skalierbarkeit unterstützen.

Im Sinne von Industrie 4.0 könnte das Assistenzsystem zukünftig zu einem horizontal und vertikal integrierten cyber-physischen System weiterentwickelt werden, auf dessen Basis wiederum ein Abrufen automatisch generierter und jederzeit verfügbarer Prozesskennzahlen umgesetzt werden kann.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Klapper, J. et al. (2019). Potenziale digitaler Assistenzsysteme - Aktueller und zukünftiger Einsatz digitaler Assistenzsysteme in produzierenden Unternehmen. Online im Internet (Abruf am 04.04.2020): http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5550798.pdf
- Manzei, C.; Schlepner, L.; Heinze, R. (Hrsg.) (2017). Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. VDE Verlag, Beuth Verlag
- Müller-Polyzou, R. et al. (2019). SPS steuern Assistenzsysteme in der Digitalen Fabrik - Integration eines Laser-Assistenzsystems zur Werkerführung in die Steuerungsebene der Digitalen Fabrik. In: Industrie 4.0 Management 35 4, S.13-16
- Unrau, A.; Riediger, D.; Hinrichsen, S. (2016). Projektionsgestützte Assistenzsysteme in der manuellen Montage. Online im Internet (Abruf am 24.01.2020): <https://refa.de/blog-industrial-engineering/435-projektionsgestuetzte-assistenzsysteme-in-der-manuellen-montage>

FH OÖ CAMPUS WELS: DEVELOPMENT OF A RIDER MODEL FOR AGILE MANEUVERING OF A MULTIBODY MOTORCYCLE BASED ON A SYSTEMATIC CONTROL APPROACH

Haas, S.; Grabmair, G.

Abstract: By means of detailed simulation models, it is possible to investigate the dynamic behavior of motorcycles and improve the performance and safety. For that reason, it is necessary to use comprehensive multibody models in combination with a suitable control concept. Due to the high complexity of the multibody model, a reduced order model is required for the development of a so-called rider model, which can then be used for the sophisticated model. Based on a nonlinear simplified model suitable rider models (control concepts) are developed. A systematic approach based on the quasi steady state behavior of the motorcycle is introduced. It turns that a reasonable performance can be achieved with the nonlinear SPM (Sliding Plane Motorcycle) model with this approach. Finally, the rider model is coupled with a sophisticated multibody motorcycle and shows a highly satisfactory performance with regards to tracking a specified centerline with a predefined velocity.

Key words: Multibody Motorcycle, Reduced Order Model, Feedback Control, Motorcycle Rider.

1. INTRODUCTION

Over the past decades, increasing emphasis has been put on the advancement of driver safety and assistance features in the automobile industry. In order to do so it is useful to investigate the dynamic behavior in a simulation environment before the production. To this end, a good understanding regarding the detailed modeling of car dynamics has already been gathered. However, unlike the progress made in the car industry, there is little interest in single-track vehicles like motorcycles. Although some simple safety functions supporting the rider already exist, the development of further advanced features needs to be addressed. In order to do so, again sophisticated simulation models need to be available in combination with a suitable “motorcycle rider” aiming to stabilize the motorcycle, perform a maneuver and investigate the dynamic behavior.

2. PROBLEM STATEMENT AND FOCUS

In order to obtain valuable results in the simulation, it is necessary to use a sophisticated multibody motorcycle simulation model. However, due to the high complexity, it is difficult or nearly impossible to develop a suitable rider model (control concept) based on that complex model. This fact makes it necessary to consider alternative approaches involving the development of a rider model based on a simplified motorcycle. At this point, the work aiming to develop an appropriate control scheme for a multibody motorcycle is still limited with only few authors having achieved reasonable results for mostly simple maneuvers. For this reason, the aim is to develop a suitable rider model capable of performing agile maneuvers with a multibody motorcycle. The rider model needs to be developed by means of a model with a lower degree of complexity but sufficient level of detail. Based on the simple motorcycle model, a systematic control approach based on modern control theory is introduced and further the performance of the rider model coupled with the multibody motorcycle is investigated.

3. MOTORCYCLE RIDER MODEL AS CONTROL PROBLEM

Different reduced order motorcycle models existing in literature were evaluated. It turned out that the Sliding Plane Motorcycle (SPM) model introduced by (Saccon et al. 2012) is the best candidate and consequently used for a rider model.

3.1 Sliding Plane Motorcycle (SPM) Model

The SPM model illustrated in Fig. 1 comprises a single rigid body with the mass m_b that makes contact with the ground at two points, accounts for lateral sliding, includes a linear tire model and a rider mass is rigidly attached to the motorcycle. The motorcycle employs a knife edge tire model, takes into account the aerodynamic drag force F_{aero} and has a vertical steering axis (caster angle and trail are not considered).

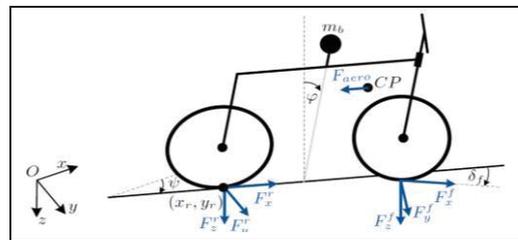


Fig. 1: SPM Model (Saccon et al. 2012)

The equations of motion in body coordinates can be written as

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{f}_b(\mathbf{q}, \mathbf{v}_b), \quad \dot{\mathbf{v}}_b = \mathbf{f}_v(\varphi, \mathbf{v}_b, \mathbf{u})$$

with the generalized coordinates $\mathbf{q} = [x_r \ y_r \ \varphi \ \psi]^T$, velocity vector in body coordinates \mathbf{v}_b and the input $\mathbf{u} = [F_x \ \delta_r]^T$, where (x_r, y_r) are the Cartesian coordinates of the rear wheel contact point, φ is the roll angle, ψ is the yaw angle and the traction force F_x and the effective steering angle δ_r are inputs for the system.

3.2 Control Concept (Rider Model)

A systematic control approach based on (Giner 2016) and (Saccon et al. 2012) that makes use of the quasi steady state behavior of the motorcycle is introduced.

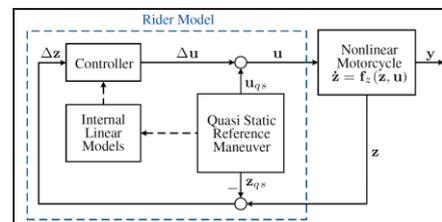


Fig. 2: Control structure for the SPM model (Giner 2016)

Imposing quasi steady state conditions pointwise in the dynamic equations of the motorcycle for a specific maneuver, the quasi steady state solution of the unknown states/inputs are obtained. The SPM model is then linearized along a nominal reference maneuver specified by the quasi steady state solution $\mathbf{u}_{qs}(t)$ and $\mathbf{z}_{qs}(t)$. The result is a linear time-variant system (also referred to as internal linear models). The quasi steady state solution for the control input \mathbf{u}_{qs} can be used as a feedforward

part and concepts based on linear control theory can be used for the feedback control, e.g. an LQR controller. The control structure is illustrated in Fig. 2, where $\mathbf{f}_z \in \mathbb{R}^5$ is slightly different to $\mathbf{f}_v \in \mathbb{R}^4$, as the system is augmented by an additional relation.

4. RIDER MODEL FOR MULTIBODY MOTORCYCLE

4.1 Coupling of Rider Model with Multibody (MB) Motorcycle

Finally, the rider model is coupled with a comprehensive MB motorcycle, as illustrated in Fig. 3. The multibody model comprises of six bodies with 11 DoF and the control inputs are given by $\mathbf{u} = [\tau_r \ \tau_f \ \tau_s]^T$, where τ_r and τ_f are the rear and front wheel torques respectively and τ_s is the steering torque. As the MB model and the SPM employ different inputs, some kind of mapping is necessary in order to use the rider model.

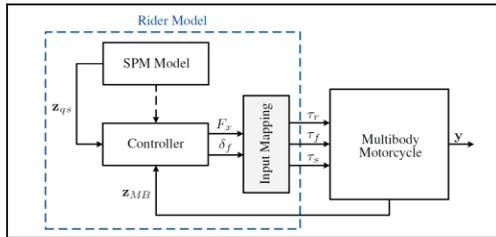


Fig. 3: General control structure for the multibody motorcycle

The mapping for the longitudinal dynamics splits the tractive force F_x into a rear and front wheel torque, with a different distribution for acceleration and deceleration. When the motorcycle is accelerating, the entire force is transmitted via the rear wheel and the distribution of the braking force is performed according to (Cossalter 2006). The second mapping part (lateral dynamics) employs a PID controller in order to generate a steering torque. The rider model introduced for the SPM model can directly be used for the MB model, however it is necessary to assemble a state vector \mathbf{z}_{MB} including the necessary motorcycle states for the controller. An additional outer control loop for the lateral deviation of the reference centerline is implemented, which allows to further improve the tracking performance.

4.2 Simulation Results

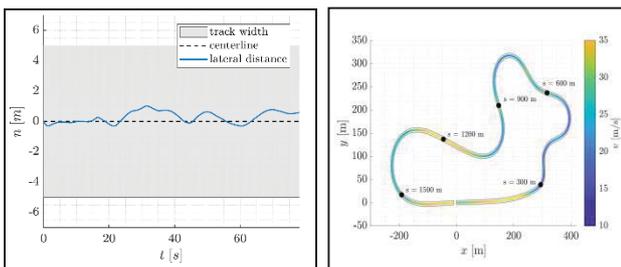


Fig. 4: Lateral deviation from centerline for MB motorcycle and reference track

AUTHOR



DI Sandra Haas, BSC

FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Roseggerstraße 15, 4600 Wels
Email: sandra.haas@fh-wels.at

Sandra Haas (geb. 1995) maturierte 2014 an der HAK Vöcklabruck mit Schwerpunkt IT. Danach schloss sie das Bachelorstudium Automatisierungstechnik am FH OÖ Campus Wels 2017 und das gleichnamige Masterstudium 2019 mit Auszeichnung ab. Seit 2019 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich der verteilten/vernetzten Regelung an der FH OÖ.

Simulation studies show that the overall performance of the MB motorcycle coupled with the rider model is highly satisfying. Fig. 4 (left) illustrates the lateral deviation of the specified centerline with the MB motorcycle, where $n_{max} = 1.01 \text{ m}$ is the maximum deviation. In addition, Fig. 4 (right) shows the reference track with the specified desired velocity. The result indicated that the SPM is a highly suitable reduced order model for the purpose of the rider model design

5. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

The thesis provided contributions with respect to developing a suitable rider for multibody motorcycles. A simple nonlinear model was introduced, providing the basis for a system control approach. The rider model was coupled to a comprehensive multibody model and showed a highly satisfactory performance, hence indicating that the SPM model is a suitable model for the rider design with a sufficient level of detail. Future investigations could be made if including the caster angle, trail and a more sophisticated tire model would increase the overall compliance of the models and the overall control performance. In addition, it is reasonable to include the longitudinal slip in the tire model and hence introduce a longitudinal slip controller as presented in (Corno et al. 2008). A comparison with a multi-loop control strategy showed that a similar performance can be achieved, although the development of the controller is less systematically. However, for quick stabilizing tasks that do not require a perfect tracking performance, this approach is also a good alternative.

Outcome of the Thesis

A subsequent research work allowed to further examine the controller for the MB motorcycle. In order to do so, the motorcycle was modeled in a free multibody software called FreeDyn. An interface between this software and MATLAB Simulink allowed to apply the rider model to the sophisticated MB motorcycle. Again, a great performance could be achieved with the rider model introduced and a newly developed approach based on (Freund 1971). Based on this research in collaboration with another research associate, a paper is soon published, see (Haas et al. 2020).

7. REFERENCES

- Corno, M., Savaresi, S.M., Tanelli, M. & Fabbri, L., 2008. On optimal motorcycle braking. *Control Engineering Practice*, Vol. 16, No. 6, 644-657
- Cossalter, V., 2006. *Motorcycle Dynamics*. LULU, 2nd edition. ISBN: 978-1430308614
- Freund, E., 1971. *Zeitvariable Mehrgrößensysteme*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-48185-7, Berlin.
- Giner, D., 2016. *Symbolic-Numeric Tools for the Analysis of Motorcycle Dynamics. Development of a Virtual Rider for Motorcycles based on Model Predictive Control*. PhD Thesis. Universidad Miguel Hernandez
- Haas, S., Dück, M., Winkler, A., Grabmair, G., Oberpeilsteiner, S., 2020. Free Multibody Cosimulation Based Prototyping of Motorcycle Rider Assistance Systems. *SAE Technical Paper* 2020-32-2306 (accepted)
- Saccon, A.; Hauser, J. & Beghi, A., 2012. Trajectory Exploration of a Rigid Motorcycle. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 20, No. 2, 424-437, DOI: 10.1109/TCST.2011.2116788

FH OOE: MODELLBASIERTE NICHTLINEARE REGLERENTWICKLUNG FÜR EINE SERVOHYDRAULISCHE PRESSE

Haslinger, D.; Gahleitner, R.

Kurzfassung: Diese Arbeit widmet sich der Untersuchung von verschiedenen Systemkonzepten und linearen sowie nichtlinearen Regelungsstrategien für servohydraulische Antriebe. An einer realen Presse erfolgt die steuerungstechnische Implementierung sowie wissenschaftliche Evaluierung der verschiedenen theoretisch entwickelten System- und Regelstrategien bei real durchgeführten Pressvorgängen bis 1000 kN. Dabei wird die Taktzeit verringert während sich gleichzeitig die Regelgüte erhöht. Aus der Evaluierung ist festzuhalten, dass sich mit nichtlinearen Regelstrategien deutliche Vorteile gegenüber linearen P-Reglern mit Servokorrektur im dynamischeren Betrieb bei hohen Prozessgeschwindigkeiten bzw. optimalen Taktzeiten ergeben.

Schlüsselwörter: Modellbasierte Entwicklung, Hydraulischer Linearantrieb, Nichtlineare Regelung, Eingangs-Ausgangs-linearisierung

1. EINLEITUNG

Diese Arbeit baut fundamental darauf auf, herausragende theoretische Publikationen im Bereich der nichtlinearen Regelungstechnik, welche für Problemstellungen mit hohen dynamischen Anforderungen entwickelt worden sind, in der industriellen Praxis eines Maschinenbaubetriebs anzuwenden. Dabei erfolgt zum einen ein Vergleich von zwei verschiedenen hydraulischen Grundsaltungen. Zum anderen liegt der Fokus auf dem Entwurf von nichtlinearen Regelungsstrategien für beide Grundsaltungen, wobei eine ausgewählte nichtlineare Regelungsstrategie in diesem Paper genauer vorgestellt wird.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Es wird die Forschungsfrage beantwortet, ob sich durch den Einsatz von nichtlinearen Strategien bei einer konkreten realen Presse, eine signifikante Effizienzsteigerung gegenüber klassischen P-Regelungen mit Servokorrektur ergibt. Eine weitere Aufgabenstellung dieser Arbeit ist, minimale Taktzeiten bei zufriedenstellender Regelgüte für konkrete Arbeitszyklen zu erreichen. Zusätzlich erfolgt eine Untersuchung des Energieverbrauchs bzw. Energieeinsparungspotentials, durch die in dieser Arbeit entworfenen Regel- und Load-Sensing Strategien.

3. GRUNDSCHALTUNGEN GEREGELTER HYDR. ANTRIEBE

Hydraulische Antriebe lassen sich im Wesentlichen auf zwei Arten betreiben. Im ersten Fall wird über eine Pumpe ein konstanter Druck erzeugt und die Regelung der Position bzw. hydraulischen Kraft des Differentialzylinders erfolgt über ein hydraulisches Stetigventil, man spricht hier von einem ventilbasierten Antrieb. Im zweiten Fall wird über eine Drehzahlverstellung der Pumpe geregelt, dies wird als Servopumpenantrieb bezeichnet. Die Komplexität liegt nun in der Kombination von ventilbasiertem Antrieb und

Servopumpenantrieb mit dem Ziel, eine energieeffiziente und dynamische Regelung zu erreichen, vgl. (Murrenhoff, 2012).

4. NICHTLINEARE REGULINGSSTRATEGIE

Für die betrachteten Grundsaltungen erfolgt ein nichtlinearer Reglerentwurf, um eine dynamische Trajektorienfolgeregelung zu realisieren. Den Eingang $u = A_v$ des Systems stellt die Durchtrittsfläche A_v des Regelventils an den jeweiligen Steuerkanten dar. Die Systemgleichungen für eine Abwärts-Pressbewegung bzw. $u \geq 0$ ergeben sich aus der mechanischen Bewegungsgleichung des Pressenbalkens

$$\dot{x}_{PB} = v_{PB} \tag{1}$$

$$\dot{v}_{PB} = \frac{1}{m} (F_H + F_G - F_{ext} - F_R) \tag{2}$$

und der Druckaufbaudynamik in den beiden Zylinderkammern

$$\dot{p}_A = \frac{E}{V_{A,0} + A_K x_{PB}} (-A_K v_{PB} + c_{v,12} \sqrt{p_P - p_A} u) \tag{3}$$

$$\dot{p}_B = \frac{E}{V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB}} (\alpha A_K v_{PB} - c_{v,12} \sqrt{p_B - p_T} u). \tag{4}$$

Die Implementierung nichtlinearer Regelungsstrategien erfordert i.A. die Kenntnis der Ist-Geschwindigkeit sowie Ist-Beschleunigung im Regelgesetz. Um in der Praxis eine Möglichkeit zu schaffen, mit kostengünstigeren Wegmesssystemen, nichtlineare Regelungsstrategien einzusetzen wird versucht die Geschwindigkeit bei der Berechnung des Verdrängungsvolumenstroms zu eliminieren. Dies gelingt durch eine in (Kugi, 2001) bzw. (Jelali & Kroll, 2003) entwickelte nichtlineare Zustandstransformation

$$z_A = p_A + E \ln(V_{A,0} + A_K x_{PB}) \tag{5}$$

$$z_B = p_B + E \ln(V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB}). \tag{6}$$

In transformierten Koordinaten ergibt sich das Zustandsraummodell der Druckaufbaudynamik als

$$\dot{z}_A = \frac{E}{V_{A,0} + A_K x_{PB}} (c_{v,12} \sqrt{p_P - p_A} u) \tag{7}$$

$$\dot{z}_B = \frac{-E}{V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB}} (c_{v,34} \sqrt{p_B - p_T} u). \tag{8}$$

Für den inneren Kreis wird eine Eingangs-Ausgangslinearisierung mit der Ausgangsfunktion $F_z = c(\mathbf{x}) = A_K z_A - \alpha A_K z_B$

und dem Zustandsvektor $\mathbf{x} = [x_{PB}, v_{PB}, z_A, z_B]$ entworfen. Der innere Kreis mit dem Regelgesetz $u =$

$$\frac{k_i (F_{z,d} - F_z) (V_{A,0} + A_K x_{PB}) (V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB})}{A_K E (c_{v,12} \sqrt{p_P - p_A}) (V_{A,0} + A_K x_{PB}) + (c_{v,34} \sqrt{p_B - p_T}) (V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB})} \tag{10}$$

ist als eine Art Kraftgenerator zu betrachten. Der äußere Regelkreis dient zur Stabilisierung der mechanischen Bewegung des Pressenbalkens. Abb. 1 zeigt das Blockschnittbild dieser Regelungsstrategie. Der Reglerparameter k_i im inneren Kreis ist in Analogiebetrachtung als gewünschte Eigenfrequenz des Kraftgenerators in rad/s interpretierbar. Die Referenzkraft aus dem äußeren Kreis berechnet sich zu

$$F_{z,d} = m \ddot{x}_{PB,d} - k_{a,v} (\dot{x}_{PB} - \dot{x}_{PB,d}) - k_{a,x} (x_{PB} - x_{PB,d}) + F_R - F_G + F_{ext} + A_K E \ln(V_{A,0} + A_K x_{PB,d}) - \alpha A_K E \ln(V_{B,0} - \alpha A_K x_{PB,d}). \tag{11}$$

Mit dieser Strategie zeigen sich vor allem im dynamischeren Betrieb deutliche Vorteile gegenüber klassischen linearen Regelungen mit Vorsteuerungen, vgl. (Komsta, 2012), (Lovrec, et al., 2009), (Jelali & Kroll, 2003), (Kugi, 2001).

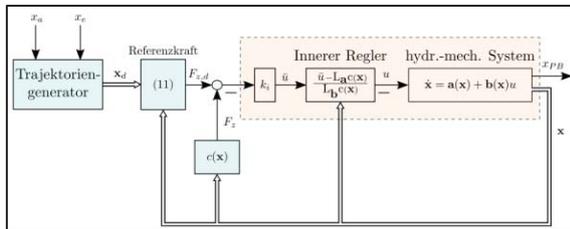


Abb. 1 Blockschaftbild nichtlineare Regelungsstrategie.

4. Ergebnisse

Im Ergebnis wurden alle in (Haslinger, 2019) entwickelten nichtlinearen Regelstrategien hinsichtlich Regelgüte und Energieverbrauch untersucht und mit linearen Regelstrategien verglichen. Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich optimal eingestellte lineare Regelstrategien mit Vorsteuerung für alle hydraulischen Grundschaltungen bei quasistationären Prozessen sehr gut eignen. Deutliche Vorteile der nichtlinearen Strategien ergeben sich bei dynamischeren Prozessen, die gleichzeitig eine optimale Positioniergenauigkeit und einen geringen Trajektorienfolgefehler erfordern. Zusammengefasst ergeben sich folgende Vorteile der nichtlinearen gegenüber den linearen Regelstrategien bei einem Servopumpenantrieb als Grundschaltung:

- max. Trajektorienfolgefehler deutlich geringer,
- 6-fache Beschleunigung möglich,
- Verringerung der Ausregelzeit (Taktzeit) um 30 %.

Die Vorteile mit einem ventilbasierten Antrieb sind:

- 2,5-fache Beschleunigung möglich
- Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit um 43 %,
- deutliche Steigerung der Positioniergenauigkeit,
- sowie einer Verringerung der Ausregelzeit (Taktzeit) um 62 %.

Diese am realen System bei einer Presskraft von 1000 kN gezeigten deutlichen Vorteile sind in Tab. 1 ersichtlich. Durch das im Frequenzumrichter implementierte Load-Sensing bleibt dabei die hydraulische Verlustleistung über das Regelventil möglichst gering.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag werden zunächst zwei hydraulische Grundschaltungen vorgestellt, die mittlerweile Stand der Technik sind. Der weitere Fokus liegt auf den zwei Kerninhalten, nämlich zum einen der Vorstellung einer nichtlinearen Regelstrategie bei ventilbasierten Linearantrieben mit kostengünstigeren Wegmesssystemen. Zum anderen die Evaluierung der Regelstrategien am realen System bei Presskräften von 1000 kN hinsichtlich Regelgüte und Energieverbrauch. Dabei ist an einer industrietypischen realen Presse aufgezeigt, dass sich mit nichtlinearen ventilbasierten Regelstrategien und Load-Sensing die Taktzeit erheblich verkürzen lässt, während sich die Positioniergenauigkeit erhöht.

AUTOR



Dipl.-Ing. Daniel Haslinger, BSc.

BRP-Rotax/R&D, Rotaxstrasse 1, 4623 Gunskirchen, daniel.haslinger@brp.com

2014-2017: Bachelorstudium Mechatronik/Wirtschaft, Fachhochschule Wels,
2017-2019: Masterstudium Automatisierungstechnik, Fachhochschule Wels,
seit 2020: Developer Functional Software, BRP-Rotax.

Der Zweitautor ist der Betreuer der Masterarbeit.

Die aus Messdaten berechneten Leistungen, Energien und Wirkungsgrade sind sehr aussagekräftige Ergebnisse zu möglichen Energieeinsparungspotentialen, welche sich bei der Wahl einer geeigneten hydraulischen Grundschaltung ergeben.

	Servopumpenantrieb		Ventilb. Antrieb (mit Load-Sensing)	
	Nichtlineare Strategie	Lineare Strategie	Nichtl. Strat.	Lin. Strat.
v_{max}	40 mm/s	35 mm/s	50 mm/s	35 mm/s
a_{max}	200 mm/s ²	30 mm/s ²	500 mm/s ²	200 mm/s ²
Δx_{PB}	0,14 mm	0,14 mm	0,05 mm	0,11 mm
t	2,16 s	3 s	1,22 s	1,92 s
W_{el}	0,0294*	0,0286*	0,0454*	0,0451*
W_{hydr}	0,0203*	0,0191*	0,0304*	0,0302*
η_{ges}	51,4 %	55,2 %	34,1 %	34,4 %

Tab. 1: Ergebnisse aus Evaluierung am realen System. (* kWh)

7. LITERATURVERZEICHNIS

Haslinger, D., 2019. *Modellbasierte Reglerentwicklung für eine servohydraulische Presse*, Masterarbeit. FH OOE Campus Wels, Österreich: s.n.

Haslinger, D. & Gahleitner R., 2021. *Modellbasierte nichtlineare Reglerentwicklung für eine servohydraulische Presse*, FFH20, FH Wien, Angenommen zur Publikation.

Jelali, A. & Kroll, M., 2003. *Hydraulic Servo-systems*, Düsseldorf und Ladenburg, Deutschland: Springer.

Komsta, J., 2012. *Nonlinear Robust Control of Electro-Hydraulic Systems*, Dresden, Deutschland: VDI Verlag.

Kugi, A., 2001. *Non-linear Control Based on Physical Models*, Linz, Österreich: Springer-London.

Kugi, A., Schlacher, K. & Keintzel, G., 1999. Position Control and Active Eccentricity Compensation in Rolling Mills, *at-Automatisierungstechnik*.

Kulakowski, B. & Ayalew, B., 2006. Cascade tuning for nonlinear position control of an electrohydraulic actuator. *American Control Conference*.

Li, W. & Slotine, J. E., 1991. *Applied Nonlinear Control*. Ney Jersey, USA: Prentice Hall.

Lovrec, D., Kastrc, M. & Ulaga, S., 2009. Electrohydraulic load sensing with a speed-controlled hydraulic supply system on forming machines, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*

Murrenhoff, H., 2012. *Servohydraulik*. Aachen, Deutschland: Shaker.

Neumann, T., 2001. *Untersuchungen von drehzahlveränderbaren Pumpen*, Dresden, Deutschland: TU Dresden.

FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG EINES GENERISCHEN ABGASPRÜFAUTOMATISIERUNGSMODULS

Jauk, Markus

Kurzfassung: Die Firma Kristl, Seibt & Co GmbH entwickelt und produziert Prüfstände im Bereich der Fahrzeugtechnik. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene standardisierte Softwarelösungen für den Betrieb von Motoren-, Antriebsstrang- und Rollenprüfständen entwickelt. Bis dato wurde noch kein standardisiertes Softwaresystem entwickelt, das die weltweiten Prozesse der Messung von Abgasemissionen von Fahrzeugen beinhaltet.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist, ein strukturiertes und generalisiertes Softwaresystem zu entwickeln, welches die weltweiten Testprozeduren im Bereich der Abgasmessung von Fahrzeugen abdeckt. Zunächst werden dazu die Grundlagen eines Abgasrollenprüfstands analysiert. Darüber hinaus werden Methoden der Softwareentwicklung zur Strukturierung und Darstellung komplexer Softwaresysteme erarbeitet. Danach werden bestehende Softwaresysteme im Bereich der Abgasmessung von Fahrzeugen evaluiert.

Nach diesen Untersuchungen wird eine Softwarearchitektur konzipiert, die eine generalisierte Struktur für die Messgeräte, Fahrzyklen und das Verhalten des gesamten Prüfzyklus beinhaltet. Ausgehend davon wird die modellierte Softwarearchitektur in das Prüfstandsautomatisierungssystem Tornado der Firma Kristl, Seibt & Co GmbH implementiert und getestet. Im Vergleich zu den bestehenden Projekten können durch die erarbeitete Vorgehensmethodik nicht nur objektbasierte Strukturen modelliert, sondern auch generische Programmabläufe entwickelt werden. Somit entsteht ein Softwaremodul, das hinsichtlich Erweiterbarkeit, Flexibilität und Testbarkeit neue Maßstäbe setzt.

Schlüsselwörter: Abgasrollenprüfstand, Softwareentwicklung, Softwarearchitektur, Tornado Software Suite, UML

1. EINLEITUNG

Weltweit gibt es mehrere geltende Abgasgesetzgebungen und Abgasgrenzwerte für PKWs und leichte Nutzfahrzeuge. Diese Verordnungen wurden innerhalb bestimmter Länder bzw. Vereinigungen von Ländern verabschiedet (z.B. USA, EU, China, etc.). Im Rahmen bestimmter Prüfverfahren, kann der Emissionsausstoß des Fahrzeugs an einem Prüfstand ermittelt werden. Dazu wird das Fahrzeug auf einem Rollenprüfstand platziert und an eine Abgasabsaugung angeschlossen. Die Rolle simuliert durch eingestellte Parameter die Straßenlast, während der Fahrer / die Fahrerin dem vorgegebenen Fahrprofil folgt. Das vom Fahrzeug erzeugte Abgas wird über eine Constant-Volume-Sampling (CVS)-Anlage mit Umgebungsluft verdünnt. Das verdünnte Abgas, aber auch die reine Umgebungsluft werden anschließend in Beuteln gesammelt. Die Befüllungsdauer der Beutel entspricht der Zeitspanne der einzelnen Phasen eines Fahrzyklus. Umfasst ein Fahrzyklus zwei Phasen, so werden auch zwei Beutel befüllt. Der Inhalt der Beutel wird den Analytoren zugeführt, womit die verschiedenen Konzentrationen der Abgaskomponenten gemessen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, dass das verdünnte Abgas kontinuierlich über die Analytoren geführt und gemessen wird. Ein Teil des verdünnten Abgases wird für

die Partikelanalyse (Partikelanzahl und Partikelmasse) verwendet. In Abbildung 1 ist ein schemenhafter Aufbau eines Abgasrollenprüfstands dargestellt.

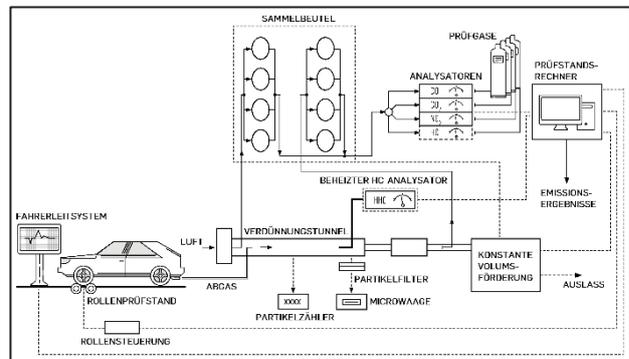


Abb. 1: Schema eines Abgasrollenprüfstands (Kristl, Seibt & Co)

2. AUFGABENSTELLUNG

Die Kernaufgabe dieser Masterarbeit besteht darin, ein Softwaremodul zu entwickeln, welches die weltweiten Testprozeduren im Bereich der Abgasmessung von Fahrzeugen abdeckt. Dazu soll untersucht werden, welche verschiedenen Varianten der Abgaszyklen existieren und ob es Möglichkeiten gibt, eine allgemeine Struktur der Zyklen zu schaffen. Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, welche Messgeräte bei solchen Prüfzyklen benötigt werden, um ein gesetzeskonformes Ergebnis zu erlangen. Bezüglich der Messgeräte soll eine Struktur geschaffen werden, die die Kommunikation und Abläufe (Initialisierung, Kalibrierung etc.) umfasst. Da für die Analyse der Emissionen verschiedene Messgeräte von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichsten Ansteuerungen benötigt werden, soll untersucht werden, wie eine Klassifizierung auf der Ebene der Messgeräte stattfinden kann. Um hierzu allgemeine abstrakte Strukturen in der Software erstellen zu können, soll eine geeignete Vorgehensmethodik der Softwareentwicklung gefunden werden, welche die Konzeptentwicklung, Programmierung und Wartung des Abgasautomatisierungsmoduls unterstützt.

3. ENTWICKLUNG

Im ersten Schritt der Entwicklung mussten alle Anforderungen an einem Abgasrollenprüfstand zusammengetragen werden. Die Auswertung der verschiedenen Gesetzgebungen gab ersten Aufschluss bezüglich der Fahrzyklen und deren Aufbau (WLTC, FTP75, US06, etc.). Ein Fahrzyklus besteht im Wesentlichen aus Phasen und sogenannten Motorabstellphasen, sowie verschiedenen Definitionen zum Motorstart- und Motorstoppablauf. Des Weiteren konnten die unterschiedlichen Messmethoden und erforderlichen Messgeräte für die Abarbeitung einer Abgasmessprozedur ermittelt werden (CVS, Analytoreinheit, Partikelmessung, etc.). Eine weitere Analyse bestehender Projekte ergab Erkenntnisse hinsichtlich des Kommunikationsprotokolls und Verhaltens verschiedener

herstellerspezifischer Messgeräte (Horiba, AVL, etc.), welche in diesem Bereich angewendet werden. Die zusammengetragenen Informationen ergaben den Grundstein für die Struktur und den Ablauf des Abgasprüfautomatisierungsmoduls. Für die Konzeptionierung der Software sind verschiedene Darstellungsmöglichkeiten betrachtet worden. Für diesen Anwendungsfall wurde die Unified-Modeling-Language (UML) als optimales Werkzeug zur Modellierung der Software festgelegt.

Im nächsten Schritt der Entwicklung konnte das Konzept der Softwarearchitektur des Abgasprüfautomatisierungsmoduls erstellt werden. Um einen generischen Programmablauf zu gewährleisten, wurden für die verschiedenen Elemente des Abgasprüfautomatisierungsmoduls Strukturdiagramme erstellt, die den allgemeinen Aufbau von z.B. einem Messgerät, dem Prüfstand oder einem Fahrzyklus (siehe Abbildung 2) darstellen.

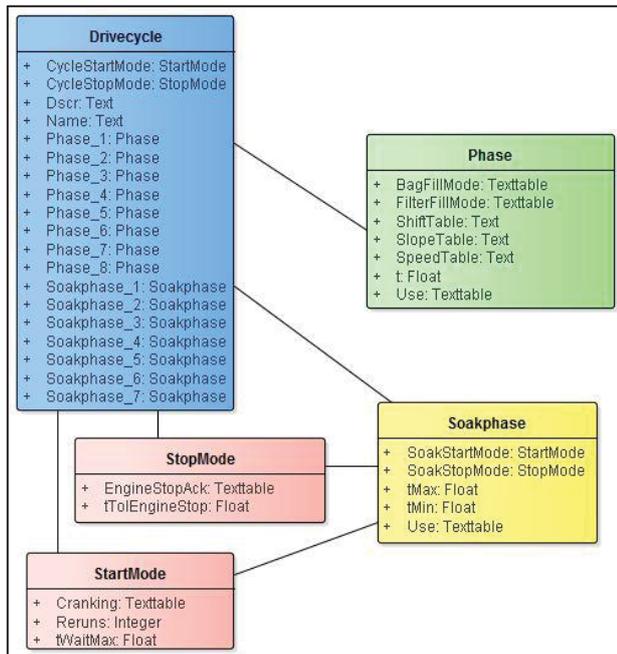


Abb. 2: Klassendiagramm des Fahrzyklus

Der generische Programmablauf, welcher die Informationen aus den verschiedenen Strukturen bezieht, konnte mittels zweier Zustandsmaschinen realisiert werden. Zum einen die Zustandsmaschine, welche für die Abarbeitung des Fahrzyklusprozesses und der Ansteuerung der Messgeräte während des Fahrzyklus zuständig ist (siehe Abbildung 3) und zum anderen eine Zustandsmaschine, welche die parallele Abarbeitung der Beutelanalyse gewährleistet.

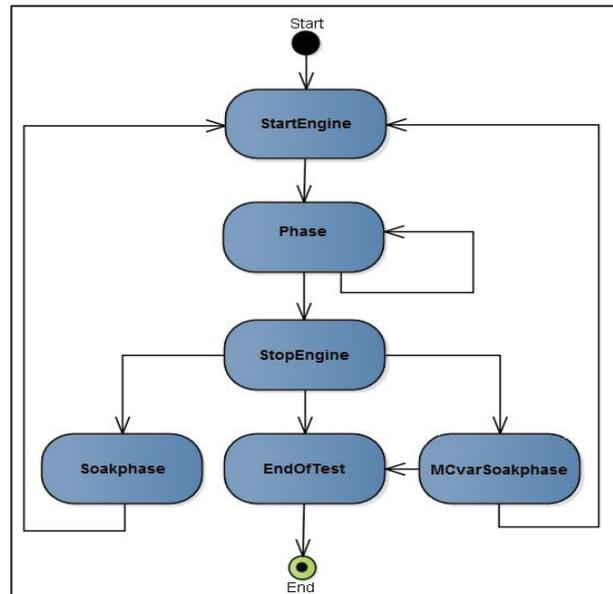


Abb. 3: Zustandsmaschine der Fahrzyklussteuerung

Durch die aufbereitete Softwarearchitektur ist die Implementierung aller Strukturen und Funktionen in das Prüfstandsautomatisierungssystem Tornado wesentlich vereinfacht worden. Erste Funktionstests der implementierten Elemente bestätigten die korrekte Abarbeitung der Abgasprüfzyklen, sowie der Ansteuerung der Messgeräte in einer Simulationsumgebung. Somit konnte ein standardisiertes Softwaremodul im Prüfstandsautomatisierungssystem Tornado für die Abgasprüfung von Gesamtfahrzeugen konzipiert und umgesetzt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammengefasst konnten durch diese Masterarbeit sowohl umfassende Erkenntnisse bezüglich der Abarbeitung und Messung von Abgasemissionen von PKW, als auch der Aufbereitung und Abwicklung von Softwareprojekten erlangt werden. Die Praxisanwendung des Softwaremoduls zeigte, dass sich die Inbetriebnahmezeit an einem Prüfstand wesentlich verringert hat. Auch Anpassungen und Neuerungen sind im Softwaremodul durch den strukturierten Aufbau wartungsfreundlicher und hinsichtlich der Testbarkeit einfacher handzuhaben.

In der Schlussphase der Masterarbeit wurde das Abgasprüfautomatisierungsmodul bereits an Realprüfständen erfolgreich getestet und eingesetzt. Für die Zukunft sind eine umfassende Weiterentwicklung und die Anwendung von automatisierten Tests des Softwaremoduls geplant.

AUTOR



Dipl.-Ing Markus Jauk

Kristl, Seibt & Co, Baiernstraße 122a,
Tel.: +43 664 8850 7685, markus.jauk@ksengineers.at

Nach Abschluss der HTBLA Kaindorf a. d. Sulm / Automatisierungstechnik, begann Herr Jauk seine berufliche Laufbahn bei der Firma Kristl, Seibt & Co als Projekttechniker für Prüfstandsautomatisierung. Nach ein paar Jahren der Berufspraxis entschloss er sich für das berufsbegleitende Bachelorstudium Automatisierungstechnik und anschließend das Masterstudium Automatisierungstechnik-Wirtschaft an der FH CAMPUS 02 und absolvierte auch diese.

MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK: OPTIMIERUNG DER WIEDERHOLUNGSGENAUIGKEIT VON TOASTERN DURCH EINSATZ VON NEURALEN NETZWERKEN

Bálint Kurucz, Ronald Stärz (Betreuer)

Kurzfassung: Toaster haben seit deren Erfindung im Jahr 1893 bereits viele Optimierungsschritte hinter sich, jedoch haben sie aus der Entwicklung der Sensorik und digitale Technologie in Kombination mit Machine Learning im dem letzte Jahrzehnte wenig profitiert. In der Regel wird eine digitale Zeitschaltuhr verwendet, um den Toastvorgang abzuschalten. Dies führt dazu, dass die hintereinander gerösteten Toasts nicht den gleichen Bräunungsgrad aufweisen. Die hier präsentierte Arbeit sucht eine Lösung um die Wiederholungsgenauigkeit von Toastern signifikant zu erhöhen. Basierend auf verschiedensten Sensordaten in Kombination mit Machine Learning, kann der Toaster eine nächste Evolutionsstufe erreichen. Es wird ein Messsystem entwickelt um die Sensordaten aufzunehmen und diese während den Aufnahmen durch das Human Machine Interface zu bewerten. Es wird Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Rauch, Wasserstoff, Ethanol, VOC, Gewicht, sowie die Farbe während des Röstvorgangs gespeichert und über WLAN übertragen. Das entworfene System beinhaltet mehrere Module die durch einen differentiellen Bus verbunden sind. Da nicht alle Sensordaten zwingen notwendig sind, wird angestrebt mit reduzierter Anzahl an Sensoren ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen. Das finale Konzept beinhaltet ein Convolutional Neural Network, welches in Echtzeit die momentane Sensordaten verarbeitet und die ideale Toastzeit bestimmt. Weiters wird eine Methode präsentiert um eine visuelle Vorschau des Brotes während dem Toastvorgang anhand den Sensordaten zu generieren.

Schlüsselwörter: Machine Learning, Smart Toaster, Data Acquisition, Neural Networks, Embedded

1. EINLEITUNG

Der Toaster, ein einfaches Küchengerät und gleichzeitig ein wahres Denkmal für die Elektrifizierung der Menschheit. Er beschäftigt Ingenieure schon seit über einem Jahrhundert. Diese Zusammenfassung bietet einen Einblick in das Projekt welches die Weiterentwicklung dieses alltäglichen Produktes durch Einsatz von Machine Learning Methoden wie NN, CNN und Random Forests versucht. Um Machine Learning an einem Problem anwenden zu können wird zu Beginn der Arbeit ein Messsystem entwickelt, welches in einem bestehenden Toaster retro-fitted wird. Zu dem Abschluss der Arbeit werden die ausgewählten Algorithmen mit Live Daten versorgt und es wird ein Vergleich mit existierenden Lösungen unternommen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Einstellung am Toaster, welche beim zweiten oder dritten Toast ein erwünschtes Ergebnis liefert, gibt in der Regel das erste Röstbrot viel zu früh aus. Man muss den Röstvorgang ein zweites Mal starten um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. Sollte man die richtige Einstellung für einen perfekten ersten Toast gefunden haben, verkohlen dafür die nachfolgenden Brötchen. Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Lösung dieses Problems durch Einsatz von Machine Learning zu finden. Es soll ein Prototyp entstehen, welcher bei aufeinanderfolgenden Toasts die gleichen Ergebnisse unabhängig von der aktuellen Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Geräteinneren liefert.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Das erste Ziel war es ein Messsystem zu bauen, welches in der Lage ist digitale und analoge Sensoren abzufragen und dessen Daten aufzuzeichnen. Mit der Intention die Daten für ein Machine Learning Problem einzusammeln verfügt das System über einem TFT Display und einem Encoder damit nach Abschluss der Messung eine Klassifizierung von dem menschlichen Anwender abgefragt werden kann.

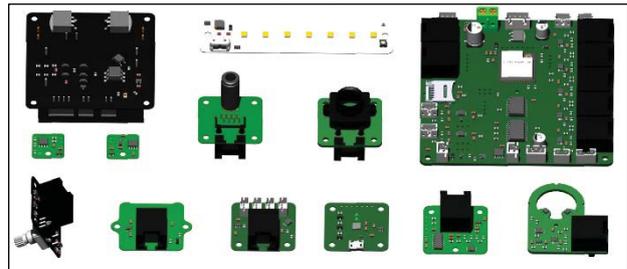


Abb. 1: Platinen des Messsystems

Es wurde ein modulares System geplant (Abb 1.), welches eine flexible Platzierung der Sensormodule erlaubt. Das System besteht aus 19 Platinen, die Messungen am und im Toaster ermöglichen, aus denen wird ein Auszug aufgelistet: Mainboard mit SD Karte und WLAN Mikrocontroller, Spannungsversorgung und Leistungsschalter mit Nulldurchgangsdetektion, Rohr Sensor Modul bestehend aus zwei Sensoren, Analog Modul (4 x 16bit ADC), IR Thermopile Passive Temperatur Sensor Modul, Farbsensor Modul, LED Beleuchtungsmodul für den Farbsensor, Wägemesszelle 24bit ADC Modul, Kapazität zu Frequenz Konverter Modul etc. Das Mainboard verfügt über fünf RJ45 Ports (I2CD) die als einzeln aktivierbare differentielle I2C Schnittstellen ausgeführt sind. Dieser Aufbau ermöglicht den Anschluss und Verkettung von den entwickelten I2CD Sensor Modulen auch über langen Leitungen.

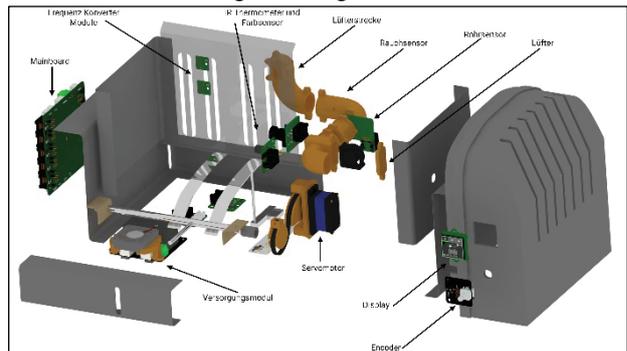


Abb. 2: Explosionszeichnung Prototyp

Dieses System wurde in einem Dualit Toaster aus 1994 eingebaut. (Abb. 2) Das Mica-Nichrome Heizelement erlaubt eine Ausklinkung zwischen zwei Windungen damit die optischen Sensoren so platziert werden können, dass sie direkt die Toasteroberfläche erfassen. Das Messsystem verfügt über einer Wägemesszelle. Mit dem drehen der Welle wird der Toast über ein Blech nach oben gefördert. In der unteren Position wird die Welle von dem Servomotor mechanisch entkoppelt und somit wird die Kraft in der vertikalen Richtung nur durch die Zelle aufgenommen.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zum Aufnehmen der Daten musste entschieden werden wie eine Bewertung so stattfindet, dass daraus eine Maschine lernen kann. Es wird ein System gewählt in welchem nach jedem Toastvorgang eine von drei möglichen Benotungen von dem Benutzer vergeben werden kann. (Abb. 3)

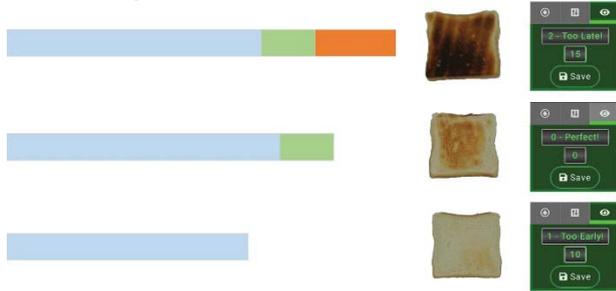


Abb. 3: Menschliche Vorklassifizierung der Daten

Eine Messung die mit „2 - Too Late“ bewertet wurde, beinhaltet auch Informationen über das Zeitfenster, in denen der Toast noch einem Zustand der Klasse P oder TE entsprach. Diese Aufspaltung der Messungen ist durch die eingegebenen Informationen der menschlichen Bewertung möglich. Setzt man diese Überlegung auf die Daten um, erhält man mehrfach generierte Messungen aus einer ursprünglichen Aufnahme.

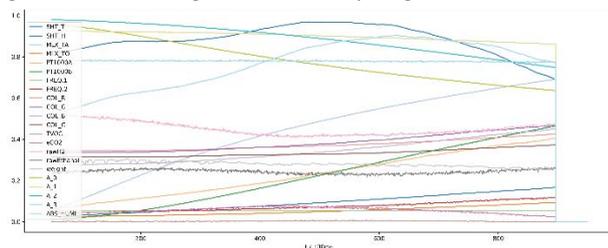


Abb. 4: Daten einer Messung – 22 Sensor Daten Kanäle

Dieses Verfahren ähnelt dem, was bei der Objekterkennung bei Bildern als Data Augmentation genannt wird. Zwischen den Messungen wurde der Toaster nach allen 5 - 10 Toasts auf Raumtemperatur abgekühlt. Um den realen Einsatz eines Toasters nachzuempfinden. Es sind über 300 Toastbrote des gleichen Typs getoastet worden. (Abb. 4) zeigt die Daten einer Messung. Um das Training der Machine Learning Algorithmen auf mehr Daten durchführen zu können, konnte die Anzahl der Messdaten durch Data Augmentation auf 3200 Trainingsdaten erhöht werden. Es wurden mehrere Netzarchitekturen und Sensorkombinationen durch Automatisierung des Trainings- und Auswertungsablaufs durch Skripte verglichen. Das Problem wurde als Klassifikationsproblem gestellt und als Mehrklassen (Abb. 3) und als Binäre Klassifikation durchgeführt. Die ersten 246 Toastscheiben wurden nach dem rösten auch fotografiert. Inspiriert vom neuronalen Netzwerktypen Generative Adversarial Networks und Autoencoder im Anwendungsbereich von Bildsynthese sowie Bildkompression wurde ein Toast Decoder erstellt. Hier wird das Netz mit dem Ziel trainiert, dass es basierend auf Messdaten ein Bild über dem Röstzustand generiert.

5. ERGEBNISSE

An den Testdaten konnte eine hohe Klassifizierungsgenauigkeit von über 98% erreicht werden, dieses Ergebnis gilt für



AUTOR

Bálint Kurucz BSc., MSc.

InEL GmbH, Kufstein, Untere Sprachen 16,
+49 176 433 134 20, kurucz.balint@gmail.com

verschiedene NN, CNN sowie Random Forest Modelle bei Binärer sowie Mehrklassen Klassifizierung.

Der Toast Decoder (Abb. 5) lieferte Ergebnisse die den Tatsächlichen Bräunungsgrad annähert.

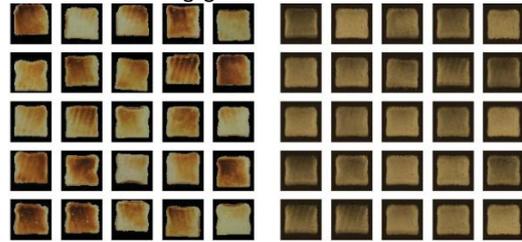


Abb. 5: Wahre Toasts (Links), Vorhergesehene Toasts (Rechts)

Ist es möglich die Wiederholungsgenauigkeit von Toaster durch Einsatz von neuronalen Netzwerken zu optimieren, wie der Titel verspricht? Um diese Frage nicht nur mit Messergebnissen an Testdaten zu beantworten, wurde der Live Predictor erstellt und der Prototyp wurde mit zwei auf dem Markt erhältlichen, modernen Toaster verglichen.

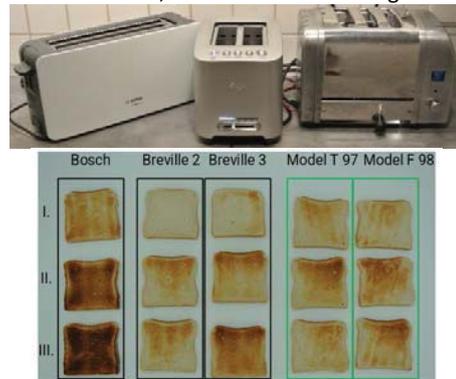


Abb. 6: Bosch (Links), Breville (Mittig), Prototyp (Rechts)

Die Ergebnisse sind in (Abb. 6) ersichtlich. Grün markiert sind die Toasts, die in dem Prototyp geröstet worden sind.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Messsystem bietet noch Entwicklungspotential an Hardware- und Softwareseite. Es können weitere Sensormodule entstehen und verschiedene Ausbaustufen des Mainboards. Gepaart mit einer flexiblen Software die einen beliebigen Messaufbau ohne Programmieraufwand konfigurieren lässt, könnte als Prototypisierungs-Plattform von Machine Learning Anwendungen dienen. Eine Erweiterung der Messplattform wäre denkbar, welche den Test von Machine Learning Modellen im Prototyp ohne externe Abhängigkeiten (Server und WLAN-Verbindung) ermöglicht. Es kann ein Computing Node (z.B. Nvidia Jetson Nano) mit UART / RS485 Anbindung direkt an das Mainboard des Messsystems verbunden werden. Der darauf befindliche Live Predictor sollte fernwartbar mit neuen Modellen versorgt werden können. Es können weitere Sensormodule entstehen und verschiedene Ausbaustufen des Mainboards. Gepaart mit einer flexiblen Software die einen beliebigen Messaufbau ohne Programmieraufwand des Anwenders konfigurieren lässt, könnte als Prototypisierungs-Plattform von Machine Learning Anwendungen dienen.

ENTWICKLUNG EINES DEHNUNGSMESSSTREIFENS FÜR DIE BESTIMMUNG VON TORSIONEN AN WELLEN UNTER VERWENDUNG GENERATIVER FERTIGUNGSVERFAHREN

Vorgelegt von:

Jasmin Rosenberger-Loidl, BSc. MSc.

Kurzfassung: Ein neuer sich schnell erweiternder Bereich in Forschung und Entwicklung ist der digitale Druck von Sensoren, zu dem sich unter anderem generative Fertigungsverfahren eignen. Zu diesen Fertigungsverfahren zählt der Inkjet-Druck, wodurch durch spezielle Tinten aus elektrisch leitenden metallischen Partikeln flexible elektronische Sensoren generativ gefertigt werden können.

Das Inkjet-Druck-Verfahren ermöglicht ebenso eine einfachere Herstellung und Reduzierung der Herstellungskosten dieser Sensoren und ermöglicht durch diverse verschiedene Strukturen weitreichende Anwendungsbereiche.

Die Masterarbeit zeigt auf, dass Dehnungsmessstreifen (DMS) unter der Nutzung von Silber-Nanopartikelintinten erfolgreich kostengünstig hergestellt werden können und für die Auswertung und Analyse von Torsionsspannungen geeignet sind. Für die Ermittlung der Torsionsspannungen wird ein reproduzierbarer Testaufbau herangezogen und des Weiteren wird die Charakteristik der DMS-Sensoren analysiert.

1. EINLEITUNG

Die Untersuchungen fand im Rahmen des von der MA23 geförderten Forschungsprojektes „Digitalisierung durch gedruckte Elektronik (Projekt Nr. 27-07)“ statt und behandelt die Entwicklung eines Dehnungsmessstreifens für die Bestimmung von Torsionen an Wellen, welcher unter der Verwendung generativer Fertigungsverfahren realisiert wird. Im Zuge dieser Arbeit wurde dafür ein Testaufbau konstruiert und realisiert, welcher die Anforderungen der Reproduzierbarkeit der Torsionsverdrehungen an zylindrischen Objekten erfüllt. Hauptaugenmerk ist das Drucken der Dehnungsmessstreifen mittels des Tintenstrahldruckers Dimatix DMP-2850 auf flexiblen Substraten, welche weiters auf einer Torsionsprobe zu vermessen und zu analysieren sind. Hierfür wurde anschließend die Messgenauigkeit der Sensoren ermittelt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Sensoren, die Verformungen wie Verdrehungen und Dehnungen ermitteln können, sind längst fester Bestandteil der Technik. Diese Sensoren werden hauptsächlich durch mikrosystemtechnische Verfahren auf Grundlage der Halbleitertechnik hergestellt (Kawahara et al. 2013) und ergeben somit ein aufwendiges, unflexibles und teures Herstellungsverfahren.

Als Abhilfe dieser teuren Herstellungsverfahren dienen immer mehr digitale Fertigungsverfahren, wie zum Beispiel der Inkjet-Druck. Eine der größten Vorteile dieser Technologie ist das Wegfallen einer Belichtungsmaske im Vergleich zu anderen Herstellungsverfahren von DMS.

Durch den Inkjet-Drucker können Dehnungsmessstreifen flexibel und kostengünstig mit Hilfe von metallischen nanopartikelbasierenden Werkstoffen hergestellt werden.

Jedoch befindet sich dieses Fertigungsverfahren noch am Anfang der Entwicklung, denn derzeit gibt es noch nahezu keine Erfahrungswerte in Bezug auf Temperatureinflüsse, Eigenschaften der eingesetzten Materialien, Herstellungsparameter sowie Messgenauigkeiten.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Dehnungsmessstreifen anhand generativer Fertigungsverfahren, realisiert, durch den Tintenstrahldrucker Dimatix DMP-2850, entwickelt und anhand von diversen Messungen und Versuchen die Reproduzierbarkeit und somit auch die Wirtschaftlichkeit nachgewiesen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Drucktechnologien wie der Inkjet-Drucker Dimatix ermöglichen das direkte Applizieren komplexer DMS-Strukturen auf Trägermaterialien wie zum Beispiel Photopapier NB-WF-3GF100 (MITSUBISHI PAPER MILLS LIMITED, 2016), das anschließend auf die Prüfoberfläche geklebt wird. Als Basis für die Herstellung der gedruckten DMS-Sensoren wurden kommerziell erhältliche Ag-Nanopartikelintinten, wie zum Beispiel NBSIJ-FD02 (MITSUBISHI, 2014), verwendet.

In der folgenden Abb. 1 sind zwei Grundstrukturen für die generativ gefertigten DMS ersichtlich, die nach und nach in der Anzahl der Mäander und Leiterbahnlänge angepasst wurden um die Messgenauigkeit der DMS zu verbessern.



Abb. 1: Grundstruktur der generativ gefertigten DMS

Die Prüfobjekte wurden mittels eines Testaufbaues, welcher reproduzierbar ist und mittels innovativer und fertigungsgerechter Konstruktion realisiert wurde, auf Torsionsspannung belastet.

Anschließend wurden die gedruckten DMS mit handelsüblichen DMS verglichen. Dazu waren Messungen der gedruckten sowie der handelsüblichen DMS erforderlich die mittels Wheatstone'sche Brückenschaltung (Keil 1995) eruiert wurden. Abschließend wurde die Charakteristik, der auf Torsion beanspruchter DMS, in Bezug auf Messgenauigkeit und Wiederholgenauigkeit bestimmt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Um künftige Messergebnisse vergleichen zu können, muss der Konstruktionsaufbau (siehe Abb. 2) reproduzierbar sein. Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit sind eine gleiche Rohrlänge und gleicher Durchmesser, selbe Positionierung und Ausrichtung der DMS, konstante Gewichtskraft mit gleichbleibendem Angriffspunkt und zusätzlich konstante Umgebungstemperatur.

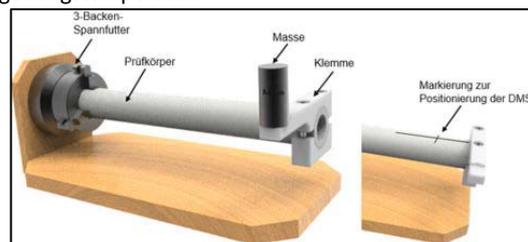


Abb. 2: reproduzierbarer Konstruktionsaufbau

Das Messen mit DMS umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Einzelschritte, wie zum Beispiel das Vorbereiten der Messstelle, das Installieren der DMS sowie die Verschaltung der Wheatstone'schen Brückenschaltung.

5. ERGEBNISSE

Erste Spannungsmessungen bei Raumtemperatur haben gezeigt, dass die Ausgangsspannung im unbelasteten Zustand nicht konstant bleibt, sondern ansteigt. Ursache dafür ist der thermische Drift. Zur Vermeidung der Verfälschungen der Messungen muss der Einfluss des thermischen Driftes kompensiert werden.

In Abb. 3 ist ersichtlich, dass nach spätestens 7 Minuten Betriebsdauer, unabhängig von der Belastung, die Sättigung des thermischen Driftes erreicht wird und somit die Spannungen aufgrund von konstanten Werten unverfälscht sind.

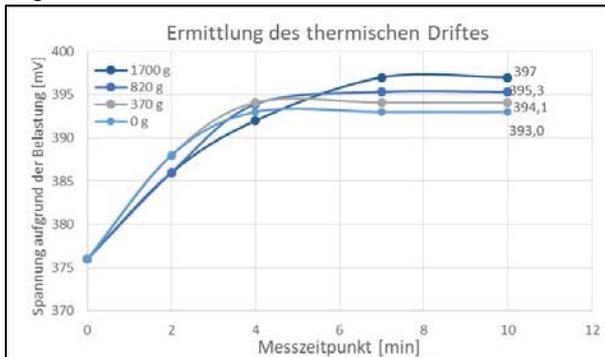


Abb. 3: Ermittlung des thermischen Driftes der generativen DMS

Durch die grafische Visualisierung der Spannungsmessungen nach einer Betriebsdauer von 7 Minuten ist in Abb. 4 ersichtlich, dass die Kennlinien der generativ gefertigten DMS ebenso wie die handelsüblichen DMS einen linearen Anstieg haben und sich somit in Bezug auf den linearen Zusammenhang zwischen der Dehnung und der Widerstandsänderung kaum voneinander unterscheiden.

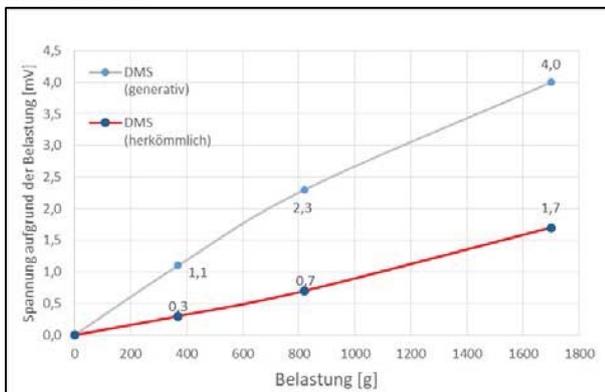


Abb. 4: lineare Kennlinie des generativ gefertigten DMS und des herkömmlichen DMS

AUTOR:



Jasmin Rosenberger-Loidl, BSc. MSc.
 Adresse: Dorf 27, 4853 Steinbach am Attersee
 Email: jarosen@gmx.at
 Ausbildung:
 2015-2020 FH Campus Wien (High Tech Man.)
 2009-2015 HTBLA Vöcklabruck (Maschinenbau)

Die generativ gefertigten DMS werden zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit 25 Mal mit einem konstanten Gewicht belastet. Anhand konstanter Spannungen der Vollbrücken- und Torsion-DMS resultiert, dass mindestens 25 Messungen pro DMS durchgeführt werden können, ohne eine Änderung der Empfindlichkeit befürchten zu müssen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurden mittels diversen Druckversuchen generativ gefertigte DMS hergestellt. Diese DMS wurden realisiert durch die Verwendung von herkömmlichen Foto-Druckpapier als Trägermaterial und einer Silber-Nanopartikelntinte als Messgitterwerkstoff.

Die vorliegenden Ergebnisse in Bezug auf elektrische Leitfähigkeit und Verformungs-Spannung zeigen, dass sich DMS erfolgreich flexibel mittels des Inkjet-Druckverfahrens herstellen lassen.

Ebenso ist anhand der vorliegenden Ergebnisse ersichtlich, dass man Verformungen mit generativ gefertigten DMS wahrnehmen kann, jedoch aufgrund des thermischen Driftes eine vorgegebene Zeit von ca. 7 Minuten abwarten muss, bis erste fehlerfreie Messungen durchgeführt werden können um exakte Aussagen über die Verformung zu treffen.

Anhand dieser Erkenntnis bleibt zu klären, ob ebenso wie bei handelsüblichen DMS aus Konstantan, eine anschließende Wärmebehandlung der Silber-Nanopartikelntinte den thermischen Drift und daraus resultierend die Empfindlichkeit der DMS kompensieren kann. Des Weiteren kann es sein, dass sich eine Sinterung der Tinte positiv auf das Verhalten der DMS ausüben könnte. Hierdurch kann einerseits die Haftung der Tinte am Substrat sowie die Bindung der Nanopartikel erhöht werden.

In Hinblick auf den Anwendungsbereich und der relativ kurzen Fertigungszeit können generativ gefertigte DMS flexibel und wesentlich kostengünstiger als handelsübliche DMS hergestellt werden, was in Zukunft sicherlich noch von wesentlicher Bedeutung sein wird.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Kawahara, Y.; Hodges, S.; Cook, B. & Zhang, C., 2013. Instant Inkjet Circuits, *Available from:* <https://dl.acm.org/doi/10.1145/-2493432.2493486> Accessed: 2020-08-02
- Keil, S., 1995. Beanspruchungsermittlung mit Dehnungsmeßstreifen, S. 160. Cuneus, Deutschland
- MITSUBISHI, 2014. NBSIJ-FD02, *Available from:* <https://www.mpm.co.jp/electronic/eng/silver-nano/line-up.html> Accessed: 2020-06-12
- MITSUBISHI PAPER MILLS LIMITED, 2016. MPM, *Available from:* <https://www.mpm.co.jp/electronic/eng/silver-nano/line-up.html> Accessed: 2020-04-04

Acknowledge

Diese Masterarbeit fand im Rahmen des von der MA23 geförderten Forschungsprojektes „Digitalisierung durch gedruckte Elektronik (Projekt Nr. 27-07)“ statt.



FH WR. NEUSTADT: KAMERABASIERTER SPURHALTEASSISTENT FÜR TEILAUTOMATISIERTES FAHREN

Christoph Scheiblaue

Kurzfassung: In dieser Arbeit wird als wesentliche Komponente des (teil)automatisierten Fahrens ein Spurhalteassistent entwickelt, welcher die Straßen- bzw. Verkehrssituation mit Hilfe von Kamerabildern in Mono- und Stereokonfiguration beurteilt. Wird in der aktuellen Fahrzeugkonfiguration eine Abweichung zur Idealposition festgestellt, erfolgt mit Hilfe eines Lenkeingriffs eine automatische Korrektur der Fahrtrichtung. Bei der Erstellung des Umgebungsmodells kommen klassische Verfahren der Optik, Bildverarbeitung und der modellbasierten Regelung zum Einsatz, sodass das System als Ergänzung oder unabhängige Alternative zu Konzepten der künstlichen Intelligenz genutzt werden kann. Alle wesentlichen Komponenten des Assistenzsystems sind echtzeitfähig, und in unterschiedlichen realen Fahrsituationen erfolgreich getestet worden.

Schlüsselwörter: automatisiertes Fahren, Spurhalteassistent, Einspurmodell, Bildverarbeitung, Stereovision

1. EINLEITUNG UND SYSTEMVORSTELLUNG

In den ersten 100 Jahren seit der Erfindung des Automobils hat sich das grundlegende Fahrzeugkonzept, mit Ausnahme von effizienteren Antriebssystemen, kaum verändert. In den letzten 20 Jahren haben jedoch zunehmend mechatronische Systeme wie Fahrdynamikregelung, Brems- oder Parkassistenten in der Fahrzeugtechnik Einzug gehalten. Durch neue Technologien und Digitalisierung treten auch verstärkt Themen der Sensorik, Bildverarbeitung, Big-Data, sowie Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) in den Vordergrund. Durch die Verknüpfung vieler Assistenzsysteme sowie der Zusammenführung von redundanten Sensorsystemen wird vollautomatisiertes Fahren voraussichtlich schon in wenigen Jahren Verbreitung finden. Aufgrund der raschen Entwicklungen in Sensorik und der stetig zunehmenden Rechenleistung von Computer-Hardware ist es aber bereits heute möglich, mit kostengünstigen Komponenten (Webcams und PC) fortschrittliche Fahrassistentensysteme zu entwickeln. Das wird am Beispiel eines Spurhalteassistenten gezeigt, welcher bei einem Level 4 System (Hochautomatisierung) eingesetzt werden könnte. Je nach Anzahl der Kameras erfolgt die Umgebungserfassung in Mono- oder Stereokonfiguration. Zur Bestimmung des Fahrbahnverlaufes werden die Bodenmarkierungen genutzt, wobei der erfassten Szene durch Auswertung der Stereobilder auch eine Tiefeninformation zugeordnet werden kann (Abb. 1). Um das Fahrzeug automatisiert in der gewählten Spur zu halten, ist ein Regelkonzept erforderlich, welches Abweichungen von der Idealposition durch einen korrigierenden Lenkeinschlag kompensiert. Werden Umgebungserfassung, -rekonstruktion sowie Berechnung/Ausführung des Lenkeingriffs zyklisch durchgeführt, ist es möglich, auch ohne Eingreifen des Fahrers eine beliebige Strecke teilautomatisiert zurückzulegen.

Das vorgestellte System ist universell einsetzbar und vom jeweiligen Fahrzeugtyp unabhängig. Nachdem die zentrale Aufgabe in der zuverlässigen Spurhaltung liegt, bleiben weitere, für das vollautomatisierte Fahren wesentliche Funktionen unberücksichtigt. Darüber hinaus wurde für die Arbeit angenommen, dass das Fahrzeug bei Umgebungs- und

Witterungsbedingungen unterwegs ist, die eine Beurteilung der Spursituation auf Basis von Kamerabildern erlauben.

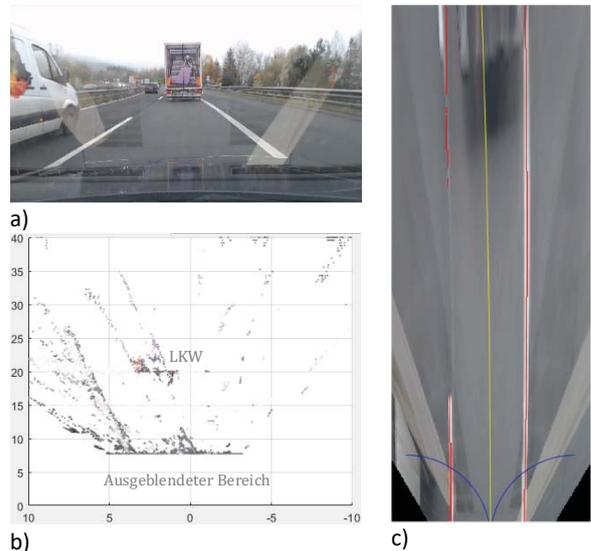


Abb. 1: a) Fahrerperspektive b) korrespondierendes Tiefenbild c) Transformation in Vogelperspektive

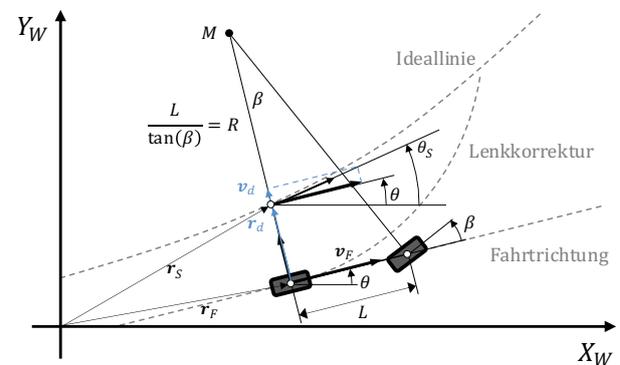


Abb. 2: Grafische Beschreibung des Spurhalteassistenten

2. METHODEN UND MODELLE

Nachdem das Assistenzsystem nur bei regulären Fahrsituationen zum Einsatz kommt, und hochdynamische Fahrmanöver wie Schleudern, Driften oder Notbremsungen anderen Assistenzsystemen zugeordnet werden, kann die Beschreibung der Querdynamik von zweispurigen Fahrzeugen mit Hilfe des instationären Einspurmodells erfolgen (Corke, 2017; Keesman, 2011). Die dynamische Beschreibung erfolgt dabei mit dem Kurvenradius R , dem Achsabstand L , dem Lenkwinkel β und der Fahrzeuggeschwindigkeit v , siehe [Abb. 2]. Die Orientierung $\theta(t)$ des Fahrzeuges, in Bezug auf ein Referenzsystem, kann durch zeitliche Integration der Giergeschwindigkeit

$$\dot{\theta}(t) = \frac{|v(t)|}{R(t)} \tag{1}$$

bestimmt werden. Bei bekannter Geschwindigkeit $|v(t)|$ kann daraus auch die Fahrzeugposition r

$$r = \int_0^t \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) \\ \sin(\theta(t)) \end{bmatrix} \cdot |v| dt + r_0 \quad (2)$$

ermittelt werden. Um die Abweichung des Fahrzeuges von der Ideallinie zu beschreiben, wird der Zustandsvektor $z = (r_d, v_d)^T$ eingeführt, dessen Komponenten r_d und $v_d = |v_F| \cdot (\theta_S - \theta)$ die seitliche Abweichung und den Winkelfehler in Bezug zur Ideallinie θ_S beschreiben, siehe Abb. 2. Unter der Annahme kleiner Fehler, folgt mit $\dot{r}_d = v_d$ die Zustandsgleichung

$$\dot{z}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot z + \begin{bmatrix} 0 \\ |v_F| \cdot \left(\theta_S + \frac{1}{L}\right) \end{bmatrix} \cdot \beta, \quad (3)$$

$$y(t) = r_d = [1 \quad 0] \cdot z. \quad (4)$$

Zur optimalen Spurhaltung wird z durch einen Zustandsregler minimiert. Der dafür erforderliche Zustandsbeobachter nutzt die Ausgangsgröße $y(t) = r_d(t)$, welche mit Hilfe der Kameraauswertung auch messtechnisch erfasst wird (Unbehauen, 2009). Um den Straßenverlauf optisch verzerrungsfrei darzustellen, werden die aus der Fahrerperspektive aufgenommenen Bilder, zunächst in die Vogelperspektive transformiert. Im Anschluss erfolgt eine Normierung des Grauwertbildes, eine Kantendetektion und eine mehrfache iterative Gewichtung, um die Begrenzungslinien sicher zu erkennen. Durch die verzerrungsfreie Darstellung wird darüber hinaus eine funktionale Beschreibung mit Ausgleichskurven (Methode der kleinsten Fehlerquadrate) möglich, wodurch die Auswertung äußerst robust und zuverlässig wird. Die praktische Anwendung hat gezeigt, dass dadurch Artefakte wie Abbiegepefeile, Fahrbahnbeschriftungen aber auch Leitpfosten o.ä. ausgeblendet werden. Dabei wird zwischen unterbrochenen und durchgehenden Markierungen unterschieden, (Abb. 1).

Um für einzelne Bildbereiche auch Tiefeninformationen zu erhalten, wird die Methode der Stereophotogrammetrie angewendet. Dabei werden zwei (annähernd) zeitgleich aufgenommene Bilder nach korrespondierenden Bildpunkten abgesucht, aus denen bei kalibrierten Kameras präzise räumliche Informationen ableitbar sind. Damit kann der Abstand zu Objekten wie Fahrzeugen, Passanten oder anderen Hindernissen genau bestimmt werden, siehe Abb. 1.

3. PRAKTISCHE UMSETZUNG UND ERGEBNISSE

Das im realen Fahrzeugtest verwendete Kamerasystem setzt sich aus zwei hochauflösenden USB-Webcams (Auflösung 1920x1080 bei 5fps) zusammen, welche im Fahrzeug mittig

AUTOR



Christoph Scheiblauber, BSc

Fachhochschule Wr. Neustadt GmbH, Johannes Gutenberg-Straße 3, 2700 Wr. Neustadt, 0664/9231115, christoph@scheiblauber.co.at

2003: Lehre als Elektrotechniker mit Schwerpunkt Bus- & Prozessleittechnik. 2010: Servicetechniker im Sondermaschinenbau. Service- und Inbetriebnahmetätigkeiten im Raum Europa, Asien und Afrika. 2014: Bachelorstudium Mechatronik/Mikrosystemtechnik und in folge Masterstudium Mechatronik an der FH Wr. Neustadt. Seit 2017: Tätig im Bereich Umweltvalidierung und Prüfsystementwicklung bei ZKW Elektronik.

befestigt sind. Die Algorithmen zur Berechnung des Lenkeinschlags werden auf einem Laptop ausgeführt, der dem Fahrer mitteilt welche Lenkkorrektur erforderlich ist, und die Testfahrt für spätere Offline-Analysen archiviert. Auf diese Weise konnte der Spurhalteassistent unter Einhaltung aller Sicherheitsmaßnahmen und ohne Modifikation am Fahrzeug ausführlich getestet werden. Abb. 3 zeigt eine 40km lange Teststrecke die in beiden Richtungen mehrfach erfolgreich befahren wurde. Die Strecke ist so gewählt, dass sie Innerort-, Landstraßen-, Schnellstraßen- und Autobahnsituationen umfasst. Zusätzlich ergaben sich durch die mehrfache Befahrung unterschiedliche Verkehrs-, Licht- und Wettersituationen, mit denen die Robustheit des Systems demonstriert werden konnte. Allerdings hat sich wie erwartet gezeigt, dass manche Kreuzungssituationen aufgrund von mehrdeutigen Bodenmarkierungen für den Algorithmus nur schwer zu interpretieren sind. Eine mögliche Weiterentwicklung ist daher die Kombination mit einer Routendatenbank, die analog zu Navigationssystemen topologische Besonderheiten beinhaltet und bei Kreuzungsbereichen vorgibt, welchen Bodenmarkierungen zu folgen ist.



Abb. 3: Übersicht über die erfolgreich befahrene Teststrecke mit einer Länge von 2x40km

4. LITERATURVERZEICHNIS

- Corke, P. (2017). *Robotics, Vision and Control*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-54413-7
- Keesman, K. (2011). *System Identification*. Springer. doi:10.1007/978-0-85729-522-4
- Unbehauen, H. (16. 4 2009). *Regelungstechnik II*. Vieweg + Teubner Verlag. doi:10.1007/978-3-8348-9139-6

Nominierungen „Beste AbsolventInnen-Karriere“



FH CAMPUS02 GRAZ: BEWERBUNG IN DER KATEGORIE PRÄMIERUNG BESTE ALUMNI KARRIERE DIPL.-ING. PETER FREIGASSNER-SANCHEZ, BSC

Kurzfassung:

„Jetzt ist die beste Zeit. Denn in schlechten Zeiten treten die wahren Unternehmer hervor. Denn wahre Unternehmer kümmern es nicht wirklich, ob der Markt oben oder unten ist. Sie denken sich bessere Produkte und Verfahren aus. Wenn also jemand sagt: Oje jetzt gibt es weniger Möglichkeiten, dann hat er bereits aufgegeben bevor er begonnen hat“

1. BERUFLICHER WERDEGANG

Mein beruflicher Werdegang hat mit der HTBLA Wolfsberg im Schwerpunkt Automatisierungstechnik begonnen. Darauf folgte der Präsenzdienst und der Beginn meiner beruflichen Laufbahn bei HAGE Sondermaschinenbau GmbH in Obdach. Das, mittlerweile in 2.Generation geführte und weltweit tätige, Familienunternehmen entwickelt komplexe Spezialmaschinen getrimmt an Kundenbedürfnisse. Dort startete ich meine Laufbahn in der technischen Entwicklung als Detail- und Baugruppenkonstrukteur. Untypisch rasch stieg ich die erste Treppe der Karriereleiter empor und konnte meine technische Kreativität und Kompetenz als technischer Projektleiter der Entwicklung voll und ganz ausleben. Damit hatte ich auch die erste Personalverantwortung in Form von mehreren Baugruppen und Detailkonstruktoren welche mich bei der Entwicklung von Sondermaschinen unterstützt haben.

Voller Motivation und Ehrgeiz entschied ich mich 2006 für ein berufs begleitendes Studium an der FH CAMPUS02 Graz um den durchaus praktisch orientierten beruflichen Zugang zur Automatisierungstechnik mit theoretisch wissenschaftlichem Wissen zu stärken - als erster berufs begleitender Student im Unternehmen HAGE. Das absolute Maximum aus dem Studium herauszuholen, das war stets meine Priorität. Daher wurden Schwerpunkte der Ausbildung ausschließlich auf Elektronik, Informatik und Regelungstechnik gelegt und konzentriert. Diese Fachkompetenzen harmonisierten perfekt mit den bei HAGE praktisch erlernten Maschinenbau Skills und bildeten die fruchtbare Basis für eine technische Karriere.

Die abschließende Diplomarbeit beschäftigte sich mit der Entwicklung eines hybriden Bearbeitungskopfes für ein neuartiges sehr innovatives Schweißverfahren – dem Friction Stir Welding. Entwicklung, Berechnung, Fertigung und Bau der technologisch herausfordernden Masterarbeit bildeten den krönenden Abschluss des Studiums. Dank der im Studium erworbenen neuen Kompetenzen wurde parallel zur Maschine auch eine Prozessüberwachungssoftware entwickelt, welche den Schweißprozess vollständig digital erfasst, analysiert und der Maschine entsprechend Korrekturen übergibt –quasi eine digitale Schweißaufsicht mit künstlicher Intelligenz.

Ich erlaube mir einen kurzen Auszug der beeindruckenden Sondermaschinen zu geben, welche unter meiner Führung bei HAGE entwickelt und gebaut wurden. Dazu zählen z.B. eine ca. 60 m lange voll verkettete Fertigungsstraße zur Herstellung von Crashmanagement Systemen (Absorber, Crashboxen, Bumper) für diverse Fahrzeughersteller sowie die erste voll industrialisierte FSW-Anlage in der österreichischen Schienenfahrzeugindustrie. Letztere wurde sowohl mit der

Mechanik als auch mit der Software meiner Diplomarbeit ausgestattet. Diese technischen Errungenschaften und Referenzen brachten das Unternehmen HAGE schlussendlich 2016 in den Weltraum – mehr dazu auch später.

Sowohl beruflich als auch akademisch stellte das Jahr 2012 neue Weichen. So wechselte ich im Unternehmen HAGE in den technischen Verkauf mit dem Schwerpunkt Konzeptfindung, Kalkulation und Verhandlungen. Ebenso bekam ich als FH-Lehrender der FH CAMPUS02 die ehrenvolle Aufgabe mein Wissen und meine technische Begeisterung an Studierende der Studienrichtung Automatisierungstechnik weitergeben zu dürfen. Als Einsteiger, mit überschaubar geringer Anzahl von Vorlesungen, im Bereich der Konstruktionslehre und der Produktentwicklung mit Schwerpunkt CAD. Rasch wurde auch der Studiengang Innovationsmanagement auf meine innovativen Vorlesungsmethoden aufmerksam, sodass die Anzahl der Lehrverpflichtungen bis 2015 stark zunahm und ich zusätzlich Innovative Fertigungsverfahren sowie auch Computer aided Innovation vorlesen durfte. Parallel zum Vorlesungsbetrieb betreute ich je Semester mehrere Bachelorarbeiten bis hin zur durchgeführten abschließenden kommissionellen Prüfung.

Im Jahr 2013 präsentierte ich der Geschäftsführung von HAGE meine privat durchgeführte abgeschlossene Entwicklung eines additiven Fertigungssystems als neue Geschäftsidee. Darauf folgten mehrere Jahre mit intensiven Entwicklungen und Erweiterungen der Technologie bis hin zu mehreren EU weiten Horizon2020 Projekten bei denen HAGE an der Speerspitze der Technologie mitforschen und -entwickeln durfte. Mittlerweile wurde aus der Initialzündung ein international agierendes florierendes und eigenständiges Unternehmen – HAGE3D. Aktuell operierend an 2 Standorten mit knapp 20 Mitarbeiter*innen und dem Ziel innovative generative Fertigungssysteme zu entwickeln. So zählt die erste 6achsige FFF-Maschine oder der indirekte Metalldruck zu den herausragendsten Entwicklungen die ich federführend begleiten durfte.

Als Mitarbeiter im technischen Verkauf bei HAGE war es meine Aufgabe Kundenanfragen zu bearbeiten, Konzepte für Sondermaschinen zu konzipieren und Angebote zu erstellen. So war es auch 2015, als MT Aerospace HAGE um ein Angebot für eine Sondermaschine anfragte, welche alle bislang bekannten Umfänge und Risiken der Unternehmens HAGE übertraf. Eine FSW-Anlage zur Herstellung der Bauteile des kryogenen Feststoff- und Flüssig-Tank Systems der Ariane6 Trägerrakete mit voll integrierter Prozess- und Qualitätsüberwachung und Auswertung. Ziel ist es aus Einzelblechen fertige Halbkugeln mit einem Durchmesser von ca. 6 m und einer Wandstärke bis zu 12 mm in Genauigkeitsbereichen von 500 µm vollautomatisch herstellen zu können. Softwareunterstützte 3D-Laser Vermessung, von HAGE speziell für dieses Projekt entwickelt, ermöglicht vollständige Echtzeit Qualitätsaufzeichnung und Überwachung bereits während des Schweißprozesses. Schlussendlich erfolgt der abschließende Qualitätscheck der Bauteile durch Ultraschallprüfung, direkt in der Maschine. Aufgrund der gesamtheitlichen Komplexität und der

notwendigen fachlich überschneidenden Kompetenzen Maschinenbau, Elektronik, Regelungstechnik sowie auch Softwareentwicklung, betreute ich dieses Projekt nicht nur während der Angebotsphase, sondern übernahm dafür die komplette technische Verantwortung und Projektleitung. Nach mehreren Jahren intensiver Entwicklung verdankt HAGE dieser Beauftragung ein internationales Standing als eines der besten Unternehmen im Bereich der Industrialisierung von FSW.



Abb. 1: HAGE FSW-Anlagen Ariane6 bei MT Aerospace

2018 wurde ich als technischer Geschäftsführer in die Geschäftsführung von HAGE Sondermaschinenbau GmbH berufen. Aus eigenem Drang und Wunsch übernahm ich 2018 auch das Gewerbe und bin somit auch gewerberechtlich verantwortlich für ca. 130 Mitarbeiter*innen. Durch diverse Anpassungen der Organisation und Umstrukturierungen konnten wir in den vergangenen Jahren gezielt Verluste reduzieren und dementsprechend effektiver operieren. Aufgrund meiner nach wie vor nicht nachlassenden technischen Detailverliebtheit gehört es zu meinen persönlich gesteckten Zielen aktiv an den Entwicklungen unserer Sondermaschinen mitwirken zu können. Damit begleite ich das gesamte Projektteam von Anfrage bis Abschluss mit meiner Expertise und stehe in allen Belangen jedem/r Einzelnen zur Seite. Diese Art der Führung ist bestimmt nicht Mainstream, jedoch in einer derart innovativen und kreativen Umgebung wie bei HAGE absolut fördernd.

Die COVID19 Pandemie stellte mich Anfang 2020 vor völlig neue Herausforderungen. Ein florierendes Unternehmen, das sich konjunkturell betrachtet in einer absoluten Hochphase befand steht nun mitten in einer Gesundheits- und Wirtschaftskrise. Als Kapitän des HAGE-Schiffes übernahm ich das Krisenmanagement und die Leitung eines Krisenteams mit dem klaren Ziel sowohl das Unternehmen als auch alle Mitarbeiter*innen gut und mit möglichst geringen Einschränkungen durch die bevorstehende Krise zu bringen. Durch wöchentliche Anpassungen und schnelle konsequente Reaktion auf unzählige störende Ereignisse ist uns dieses Ziel sehr gut gelungen. Als im April 2020 die Zahlen der Todesfälle im benachbarten Italien so dramatisch gestiegen sind und als Ursache dafür

medial immer wieder Beatmungsmaschinen genannt wurden, wollte ich helfen und begeisterte ein kleines Team dazu mich bei der Entwicklung eines Notfall Beatmungsgerätes zu unterstützen. Nach mehreren schlaflosen Entwicklungstagen und Selbststudium ist es uns gelungen innerhalb einer Woche den ersten lauffähigen Prototypen zu bauen. Möglich dank zahlreicher HAGE 3D-Drucker, die unermüdlich generativ Bauteile herstellten. Es dauerte nicht lange bis das Bundesministerium und Fr. Ministerin Schramböck von unserem Vorhaben und Fortschritt hörte und sich im Zuge einer COVID19 Task Force bei mir meldete. Ich, respektive HAGE, wurde offiziell zum Leader Notfallbeatmungsgerät für Österreich der COVID 19 Task Force ernannt mit dem Ziel innerhalb von 4 Wochen mind. 1000 Geräte einsetzbar zu haben. Ein absolut sportliches Unterfangen, Projektleitung und Koordinierung auf höchstem Niveau waren erforderlich, um dieses Ziel greifbar zu machen. Uns gelang es nach 3 weiteren Entwicklungswochen das erste Notfall Beatmungsgerät in Obdach zu präsentieren welches ebenso zur Serienproduktion fähig gewesen wäre. Medizinisch fundiert und geprüft durch 3 erfolgreich absolvierte Tierversuche.

Doch die Krise blieb zum Glück aus und die Prognosen bewahrheiteten sich nicht, sodass unser Gerät nie zum Einsatz gekommen ist. Dies sollte das erste Projekt gewesen sein bei dem wir als Unternehmen HAGE froh und auch stolz waren keine Beauftragung und Notwendigkeit zum Bau von mehreren Maschinen bekommen zu haben. Jedoch wurden wir für unsere Leistung und Tatkraft gegen COVID19 durch mehrere politische Instanzen, beginnend bei der Landesregierung Steiermark bis hin zu Bundeskanzler Sebastian Kurz, gebührend geehrt.



Abb. 2: Pressekonferenz HAGE COVID19 Beatmungsgerät

Abschließend möchte ich noch anfügen, dass ich im parallel zum beruflich turbulenten Jahr 2020 auch private Projekte zu erledigen hatte und nebenbei zu den geschilderten Herausforderungen gleich 2mal geheiratet habe. Natürlich 2mal dieselbe Frau, jedoch wegen COVID19 organisatorisch äußerst herausfordernd. Dank meiner Organisationsfähigkeit, meiner robusten und gezielten Problemlösungsweise, meines Ehrgeizes und natürlich auch dank der vollumfänglichen Unterstützung aus dem beruflichen als auch privaten Umfeld, war dies alles möglich



Dipl.-Ing. Peter Freigassner-Sanchez

Heinrich Köle Str. 8-1 / 8742 Obdach
p.freigassner@hage.at / 0043 664 15 23 642
 seit 2018 gewerberechtlicher und techn. GF HAGE Sondermaschinenbau GmbH
 2012-2018 Technischer Verkauf HAGE Sondermaschinenbau GmbH
 2012-2018 nebenberuflich Lehrender an der FH CAMPUS 02 (AT und INNO)
 2007-2012 Projektleiter in der techn. Entwicklung HAGE Sondermaschinenbau GmbH
 2006-2012 Bachelor- und Masterstudium FH CAMPUS02 Graz Automatisierungstechnik
 2005-2007 Konstrukteur in der technischen Entwicklung HAGE Sondermaschinenbau GmbH

MCI: ING. JENS HOPFGARTNER, MSC.

Kurzfassung:

Nach dem Abschluss der PHTL Lienz Fachrichtung Mechatronik & Automatisierungstechnik im Jahr 2009 absolvierte Jens Hopfgartner seinen Zivildienst bei der LEBENSHILFE Matrie in Osttirol. Im Anschluss daran begann er im Jahr 2010 das berufsbegleitende Bachelorstudium Mechatronik am Management Center Innsbruck. Zeitgleich erhielt er die Chance beim innovativen Osttiroler Unternehmen MICADO als CAD-Konstrukteur tätig zu werden. Im Jahr 2013 schloss Jens Hopfgartner den Bachelorstudiengang mit gutem Erfolg ab und konnte sich parallel zu seinem Studium am MCI im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit bei MICADO als Projektleiter für internationale Automobil- und Luftfahrtprojekte etablieren. Um die nächsten Sprossen seiner Karriereleiter erklimmen zu können, entschied sich Jens Hopfgartner den berufsbegleitenden Masterstudiengang Mechatronik am MCI zu besuchen, welchen er 2015 mit Auszeichnung abschloss. In dieser intensiven Studienzeit wurde er zum Gesamtprojektleiter der Firma MICADO befördert. Im Jahr 2017 wurde Jens Hopfgartner schließlich zum technischen Leiter & Prokurist bestellt und ist nunmehr auch Gesellschafter der Firma MICADO SMART ENGINEERING GmbH. Aktuell befindet sich Hr. Hopfgartner in den finalen Verhandlungen zur Bestellung als technischer Geschäftsführer bei MICADO.

Schlüsselwörter: PHTL Lienz, Bachelor & Master MCI, MICADO.

1. EINLEITUNG

Schon als Kind interessierte ich mich sehr für Technik und die damit verbundene Komplexität mechatronischer Systeme. Bereits vor dem Beginn meiner technischen Ausbildung an der PHTL Lienz beschäftigte ich mich mit den programmierbaren RCX-Bausteinen der ersten Generation von LEGO Mindstorms sowie den pneumatischen Schaufelbaggern der damaligen Zeit. Daher lag für meine Eltern und mich die Ausbildung an der PHTL Lienz für Mechatronik auf der Hand. Diese Ausbildung wiederum bildete den Grundstein meiner bisherigen beruflichen Karriere. Im weiteren Verlauf meiner Ausbildung entschied ich mich für ein Bachelor- und Masterstudium am MCI in Innsbruck.

2. SCHULISCHE AUSBILDUNG

Das folgende Kapitel beschreibt die wesentlichen schulischen Ausbildungsschritte, die meinen beruflichen Werdegang nachhaltig geprägt und beeinflusst haben.

2.1. PHTL Lienz für Mechatronik

Im Zuge meiner Ausbildung an der Privaten Höheren Technischen Lehranstalt in Lienz für Mechatronik & Automatisierungstechnik in den Jahren 2004 bis 2009 erlernte ich die Grundlagen mechatronischer Systeme und deren Einsatzgebiete. Mein in der Kindheit gewecktes Interesse für mechanische Zusammenhänge und automatisierte Prozesse wurde dadurch verstärkt und weiter geprägt. Speziell Roboter- und Automatisierungsapplikationen die einfache, repetitive Arbeitsprozeduren ersetzen imponierten mir in diesem Ausbildungszweig. Darüber hinaus faszinierten mich, wie auch viele andere junge Techniker, Sportwagen sowie moderne Flugzeuge, da sie

in der Regel über eine sehr hohe Leistungsdichte verfügen und das Zusammenspiel der verbauten Komponenten entscheidend für die Performance dieser ist.

Im Zuge einer Schulexkursion besuchten wir 2008 einige Osttiroler Mechatronik-Unternehmen, darunter auch die Firma MICADO, mein künftiger Arbeitgeber. Dieses Unternehmen vereinte schon damals all meine Interessensgebiete von Automobil- & Luftfahrtprojekten bis hin zu Automatisierungslösungen.

2.2. Bachelorstudium Mechatronik am MCI

Nach dem Abschluss der PHTL Lienz absolvierte ich meinen Zivildienst bei der LEBENSHILFE Matrie in Osttirol. Diese Zeit empfinde ich im Nachhinein als sehr prägend, da mir erst dort richtig bewusst wurde, welche Chancen und Möglichkeiten man als gesunder Mensch im Leben hat. Freie Zeit neben dem Zivildienst nutzte ich einerseits, um Nachhilfe in den HTL-Fächern im Lernstudio Lienz zu geben und andererseits, um mich auf das bevorstehende Bachelorstudium für Mechatronik am MCI vorzubereiten, welches ich im Herbst 2010 antrat. Aufgrund der in der PHTL Lienz sehr gut vermittelten mechatronischen Grundlagenfächer konnte ich speziell die ersten beiden Studiensemestern sehr gut für mich nutzen, um die Lerninhalte zu verfestigen und zu vertiefen. Die Gewährung des Leistungsstipendiums im ersten Studienabschnitt bestätigte meine Prüfungsleistungen. Im Zuge meiner Bachelorarbeit untersuchte ich das Verhalten von Bauteilen aus faserverstärktem Kunststoff, welche auf speziellen Aufspannvorrichtungen nachbearbeitet werden (hauptsächlich Befräsen des Harzüberstands und Bohren von Löchern). Die dabei auftretenden Schwingungen, die durch das Fräswerkzeug eingeleitet werden, bringen das Bauteil zum Schwingen, was wiederum das Fräsergebnis beeinträchtigt und die Werkzeugstandzeit reduziert. Diese Schwingungen können durch verbesserte Kontaktelemente (z.B. der im Zuge der Bachelorarbeit entwickelte, kugelgelagerte Vakuum-Sauger mit integrierter Klemmung) reduziert und somit die Bearbeitungsqualität gesteigert und die Werkzeugstandzeit erhöht werden.

2.3. Masterstudium Mechatronik am MCI

Bereits im vierten Bachelorsemester entschloss ich mich das hervorragende Ausbildungsangebot des MCI im Bereich Mechatronik weiter zu nutzen und bewarb mich aus diesem Grund für das weiterführende Masterstudium. In diesen beiden intensiven Studienjahren konnte ich mir sowohl vertiefendes Fachwissen als auch wertvolle Softskills aneignen, welche ich in meiner weiteren beruflichen Laufbahn einsetzen konnte / kann. Im Zuge meiner Masterarbeit entwickelte und baute ich ein unbemanntes Luftfahrzeug mit VTOL-Funktion (vertical take-off and landing), welches die Vorteile in Hinblick auf Start- und Landung eines Hubschraubers (Drehflügler) mit den Effizienz-Vorteilen eines Segelflugzeugs (Starrflügler) kombiniert. Die rechnerische bzw. auf Simulationen gestützte Auslegung des Luftfahrzeugs sowie die praktischen Tests am Prototyp im Windkanal bildeten das persönliche Highlight meiner Fachhochschulausbildung am MCI. Die mit diesem Projekt zusammenhängende Abschlusspräsentation und die dazugehörige Fachprüfung konnte ich mit Auszeichnung abschließen.

3. KARRIERE BEI MICADO SMART ENGINEERING GMBH

Im Folgenden werden die wichtigsten Karriereschritte der vergangenen 10 Jahre bei der Firma MICADO dargestellt.

3.1. CAD-Konstrukteur Werkzeug- und Vorrichtungsbau

Beginnen durfte ich meine berufliche Laufbahn im Herbst 2010 als Konstrukteur im Bereich Werkzeug- und Vorrichtungsbau bei der Firma MICADO SMART ENGINEERING GmbH. Die Arbeit mit dem CAD-Programm CATIA und die dort digital entstandenen Werkzeuge- und Vorrichtungen für namhafte Automobil- und Luftfahrt-OEMs passten genau in mein Interessensgebiet. Das erste große Projekt bei dem ich als Konstrukteur tätig werden konnte, war eine universelle Aufspannvorrichtung für die Fräsbearbeitung sogenannter Flap-Track-Fairings (Abdeckungen der Landeklappenmechanik) des AIRBUS A380. Dabei wurde ich mit der Entwicklung eines neuartigen kugelgelagerten Vakuum-Saugers betraut, sowie mit der Entwicklung einzelner Aktuator-Einheiten der Maschine, welche zum Aufspannen der Strukturbauteile aus faserverstärktem Kunststoff dienen.

3.2. Projektleiter für Automobil- und Luftfahrtprojekte

Im Sommer 2011 gewann die Firma MICADO ein Projekt für die Entwicklung und den Bau einer universellen Aufspannvorrichtung für Flap-Track-Fairings des AIRBUS A350 XWB für den belgischen Tier-1-Supplier SABCA Limburg NV. Aufgrund meiner soliden Englisch-Kenntnisse sowie meiner organisatorischen Fähigkeiten wurde ich mit der Aufgabe des Projektleiters und Schnittstelle zum Kunden betraut. Die Rolle als Projektleiter konnte ich durch meine kommunikative, proaktive Art gut ausfüllen und brachte das Projekt mit einem Volumen von über €600.000,- erfolgreich zum Abschluss. Seit diesem Projekt war ich als Projektleiter für sämtliche internationalen Automobil- und Luftfahrtprojekte der Firma MICADO tätig. Ende 2011 wurde MICADO neuerlich mit der Entwicklung und dem Bau einer universellen Aufspannvorrichtung für den Horizontal-Stabilizer (Höhenleitwerk) des BOEING 787 Dreamliner betraut, wobei ich wiederum die Rolle des Projektleiters einnahm. In diesem Projekt konnte ich besonders viele Erfahrungen in Hinblick auf Projekt- und Konfliktmanagement gewinnen, welche ich in der späteren Ausrollung der nach wie vor geltenden Projektmanagement-Prozesse der Firma MICADO integrieren konnte.

3.3. Gesamtprojektleiter

Mit anhaltendem Unternehmenswachstum der Firma MICADO wurde die Menge der Projekte die jährlich abgearbeitet werden mussten laufend größer. Dadurch wuchsen auch die Anzahl und die Größe der Projektteams immer weiter an. Aus diesem Grund entschied man sich zur Umstellung und Erweiterung der internen Teamstruktur. Im Jahr 2014 wurde schließlich eine Teamleiter-Struktur eingeführt, bei der die Teamleiter jeweils

die ihnen zugewiesenen Projekte und Mitarbeiter betreuen. Die Teamleiter wiederum sind dem Gesamtprojektleiter untergeordnet. Dadurch reduzierte sich das Aufgabengebiet meinerseits als Gesamtprojektleiter auf die Betreuung von Großprojekten bzw. Großkunden und die Koordination und Betreuung der Teamleiter. Darüber hinaus fungierte ich seitdem als Schnittstelle zwischen Projektabwicklung und Geschäftsführung. Einer der persönlich größten Erfolge in der Zeit als Gesamtprojektleiter war die Akquise des nach wie vor größten Geschäftskunden der Firma MICADO. Im Jahr 2015 konnte das Südtiroler Unternehmen GKN Driveline Bruneck AG als Neukunde gewonnen werden. Die Herstellung des Geschäftskontakts beruht dabei auf einer auf dem MCI entstandenen, engen Freundschaft zu einem Kommilitonen, einem Mitarbeiter der Firma GKN, welcher wiederum MICADO als möglichen Lieferanten und Partner für künftige Projekte ins Spiel brachte. In diesem Zuge konnte ein Erstprojekt für die Entwicklung und den Bau einer automatisierten Montagelinie für die OEMs BMW, Aston Martin und Porsche in der Höhe von €1.400.000,- gewonnen werden. Mithilfe dieser Montagelinie können fünf verschiedene Typen von Hinterachssperrdifferentialen halbautomatisch in einer Taktzeit von 105 Sekunden prozessstabil montiert, geprüft und vermesen werden. Nicht nur die daraus entstandenen Umsatzsteigerungen, sondern speziell die technologische Weiterentwicklung im Zuge des Projektes prägte den weiteren Werdegang von MICADO nachhaltig. In den nachfolgenden Jahren bestellte die Firma GKN Driveline Bruneck AG Anlagen und Maschinenbestandteile mit einem Gesamtauftragsvolumen von mehr als €7.300.000,- und ist somit der umsatzstärkste Kunde der Firmengeschichte von MICADO.

3.4 Technischer Leiter / Prokurist & Gesellschafter

Im darauf folgenden Jahre gelang mir aufgrund der bisher erzielten Erfolge der Sprung zum technischen Leiter und Prokuristen der Firma MICADO. Im Herbst 2016 wurde mir darüber hinaus ein Platz als Gesellschafter der Firma MICADO angeboten, welchen ich nach wie vor ausfülle.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aufgrund der hervorragenden Ausbildung an der PHTL Linz, den Synergien aus Theorie und Praxis während des berufs begleitenden Studiums am MCI sowie meinen persönlichen Stärken im Bereich Management und Leadership, konnte ich in den vergangenen Jahren einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung des Osttiroler Vorzeigebetriebs MICADO beitragen. Neben der technologischen Weiterentwicklung konnte ich auch auf kaufmännischer Seite u.a. durch Neukundenakquise aus dem privaten Umfeld zum Unternehmenserfolg beitragen. Aktuell befinde ich mich in den finalen Verhandlungen zur Bestellung als technischer Geschäftsführer der Firma MICADO mit Ende 2020. Mit diesem Karriereschritt habe ich mich innerhalb von 10 Jahren vom CAD-Konstrukteur zum technischen Geschäftsführer entwickelt, worauf ich persönlich sehr stolz bin.

JENS HOPFGARTNER

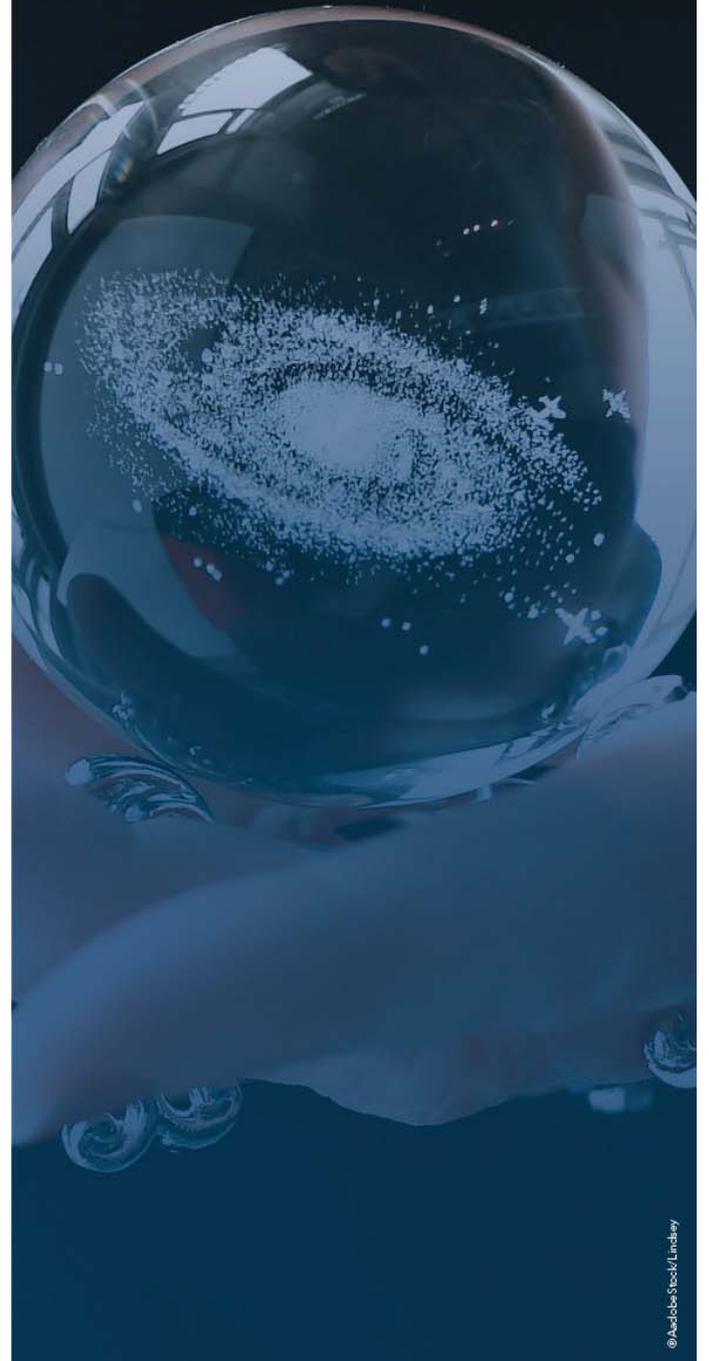


Ing. Jens Hopfgartner, MSc.

MICADO SMART ENGINEERING GmbH / 9903 Oberlienz 66 / +43 664 8839 6463 / jens.hopfgartner@micado.at

Gesellschafter, technischer Leiter & Prokurist (seit Herbst 2016)
Gesamtprojektleiter (2014 bis 2016)
Projektleiter (2011 bis 2014)
CAD-Konstrukteur (2010 bis 2011)

Sponsoren



Breites Spektrum, skalierbar, leistungsstark: Das richtungsweisende Portfolio von Beckhoff

IPC

- Industrie-PCs
- Embedded-PCs
- Motherboards

I/O

- EtherCAT-Komponenten
- IP-20-Busklemmen
- IP-67-Feldbus-Module

Motion

- Servoverstärker
- Servomotoren

Automation

- Software-SPS
- Software-NC/CNC
- Safety



EtherCAT 

www.beckhoff.at

Setzt weltweit Standards: PC- und EtherCAT-basierte Steuerungstechnik von Beckhoff.

Als Spezialist für offene Automatisierungssysteme bietet Beckhoff Komponenten für die Bereiche IPC, I/O, Motion und Automation an, die einzeln oder im Verbund als präzise aufeinander abgestimmtes Steuerungssystem fungieren. Die „New Automation Technology“ von Beckhoff steht für universelle Automatisierungslösungen, die weltweit in den verschiedensten Anwendungen zum Einsatz kommen. Die Unternehmenspräsenz in 75 Ländern gewährleistet weltweit eine kontinuierliche Betreuung.

New Automation Technology

BECKHOFF



Wir begleiten unsere Kunden von der Idee bis zum fertigen Produkt.

Unsere Kunden profitieren von unserer langjährigen Expertise in digitaler Produktentwicklung. Mit Integration unterschiedlichster Technologien zu einer Gesamtlösung schaffen wir gewinnbringende Innovationen für die Zukunft.

Unsere Kompetenzfelder:

- Integrierte hydraulische Antriebssysteme
- Integrierte elektrische Antriebssysteme
- Schwingungstechnik
- Sensorik
- Elektronikentwicklung
- Industrial IoT