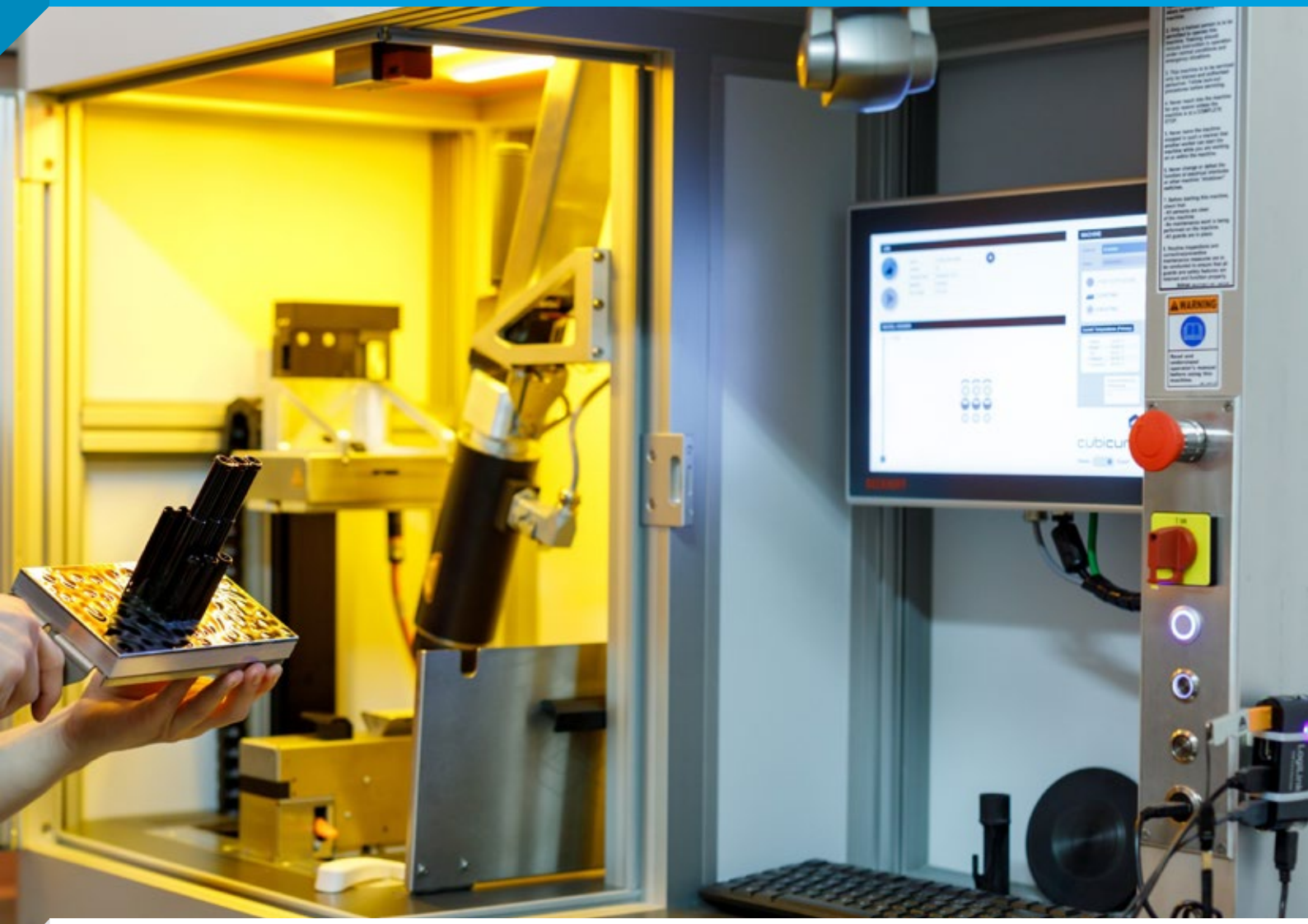
FH CAMPUS WIEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich 2023

Digital Manufacturing and Sustainable Development

Wien, 20. November 2023, FH Campus Wien

HIGH TECH MANUFACTURING



Mechatronik Plattform

Impressum

Veranstaltung:
Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich 2023
20. November 2023

Veranstalter:
Arbeitsgemeinschaft Mechatronik Plattform Österreich
FH Campus Wien, Fachbereich High Tech Manufacturing

Veranstaltungsort:
FH Campus Wien
Telefon: +43 1 6066877-2301
E-Mail: bernhard.mingler@fh-campuswien.ac.at
Internet: www.fh-campuswien.ac.at,
www.mechatronik-plattform.at

Organisationskomitee:
FH-Prof. Dr. Roman Froschauer
Prof. (FH) DI Wolfgang Haindl
Prof. (FH) Dr.-Ing. Martin Jordan
DI Viktorio Malisa
DI Dr. Andreas Mehrle
Mag. Dr. Bernhard Mingler
Prof. (FH) Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Schneider
DI Dr. Johannes Steinschaden
FH-Prof. DI Dr. Udo Traussnigg
FH-Prof.DI Dr. Wolfgang Werth

Herausgeber:
Mag. Dr. Bernhard Mingler, Studiengangsleiter Bachelor und Master
High Tech Manufacturing und Ing. Gernot Korak, BSc MSc,
Lehre und Forschung
FH Campus Wien

1. Auflage – Deutsche Erstveröffentlichung November 2023
Copyright: FH Campus Wien, 2023

DOI: 10.34895/fhcw.0013

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 2

Programm Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich 2023 4

Vorstellung der Mechatronik Plattform Österreich 5

Vorträge zum Themenschwerpunkt Digital Manufacturing and Sustainable Development 13

Nominierungen Beste Bachelorarbeit 29

Nominierungen Beste Masterarbeit 47

Nominierungen Beste Absolvent*innen-Karriere 72

Local Hero 79

Vorwort

Liebe Kolleg*innen,
liebe Teilnehmer*innen!

Die Mechatronik Plattform Österreich ist ein Zusammenschluss von mechatronisch ausgerichteten FH-Studiengängen in Österreich, denen die Förderung der Mechatronik, die Nutzung von Synergien in Bereichen wie Ausbildung, Forschung und Entwicklung sowie die Sicherung des Produktionsstandortes Österreich durch innovative mechatronische Produkte ein besonderes Anliegen ist. Von der intensiven Zusammenarbeit profitieren Studierende, Absolvent*innen, Lehrende und die Wirtschaft gleichermaßen.

Als Mitglied der Mechatronik Plattform Österreich sind die Studiengänge des Fachbereichs High Tech Manufacturing der FH Campus Wien am 20. November 2023 Veranstalter der jährlich stattfindenden Konferenz der Mechatronik Plattform mit dem diesjährigen Themenschwerpunkt „Digital Manufacturing and Sustainable Development".

Die Integration von digitalen Technologien und Informationen in den gesamten Produktionsprozess hat das Ziel, die Effizienz, Flexibilität und Qualität in der Fertigung zu steigern. Die Nutzung digitaler Technologien in der Fertigungsindustrie trägt auch wesentlich dazu bei, Ressourcen zu schonen und die Umweltbelastungen zu minimieren. Dies fördert die Schaffung nachhaltigerer Produkte und Prozesse, was den Anforderungen unserer Zeit entspricht. Vortragende von Hochschulen und Unternehmen präsentieren dazu im Rahmen der Konferenz neue Erkenntnisse sowie Entwicklungen und betrachten den Themenschwerpunkt aus verschiedenen Blickwinkeln. Außerdem werden bei der Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich die besten Bachelorarbeiten, die besten Masterarbeiten, die beste Absolvent*innen-Karriere des Jahres ausgezeichnet sowie ein „Local Hero" Preis vergeben.

Ein herzlicher Dank für ihre Unterstützung geht an unsere Partner-Unternehmen. Wir bedanken uns ebenfalls bei allen Kolleg*innen sowie externen Partner*innen, die zum Gelingen dieser Konferenz beigetragen haben.

Der vorliegende Tagungsband erscheint begleitend zur Konferenz und umfasst die Inhalte von Fachvorträgen sowie die Einreichungen zur Prämierung in den Kategorien „Beste Bachelorarbeiten", „Beste Masterarbeiten" sowie „Beste Absolvent*innen-Karriere".

Wir hoffen, dass die Teilnehmer*innen der Konferenz der Mechatronik Plattform von wertvollen Begegnungen, Diskussionen und Erkenntnissen profitieren und wünschen eine inspirierende Veranstaltung.

Mag. Dr. Bernhard Mingler

Studiengangsleiter Bachelor- und Masterstudium High Tech Manufacturing, FH Campus Wien

Head of Bachelor‘s degree program and Master‘s degree program High Tech Manufacturing, FH Campus Wien University of Applied Sciences

Ing. Gernot Korak, BSc MSc

Lehre und Forschung, FH Campus Wien

Teaching and research, FH Campus Wien University of Applied Sciences

Foreword

Dear colleagues, dear participants!

The Mechatronics Platform Austria is an association of mechatronics-oriented degree programs of Austrian Universities of Applied Sciences, which are particularly concerned with the promotion of mechatronics, the use of synergies in areas such as education, research, and development, as well as the further establishment of Austria as a production site through innovative mechatronic products. Students, graduates, teachers, and the economy all benefit equally from this intensive cooperation.

As a member of the Mechatronics Platform Austria, the Bachelor's and Master's degree programs of the High Tech Manufacturing section of FH Campus Wien University of Applied Sciences are the organisers of the annual conference of the Mechatronics Platform on 20 November 2023 with the leading topic "Digital Manufacturing and Sustainable Development". The integration of digital technologies and information into the entire production process aims to increase efficiency, flexibility, and quality in manufacturing. The use of digital technologies in the manufacturing industry also contributes significantly to conserving resources and minimising environmental impact.

This promotes the creation of more sustainable products and processes, which is in line with the demands of our time. Speakers from Universities of Applied Sciences and companies will present new findings as well as developments and look at the leading topic from different angles. In addition, the best Bachelor's theses, the best Master's theses, the best graduate career of the year and a "Local Hero" prize will be awarded at the conference of the Mechatronics Platform Austria.

Many thanks to our partner companies for their support. We would also like to thank all colleagues and external partners who contributed to the success of this conference.

This conference volume is published to accompany the conference and includes the content of the expert presentations as well as the submissions for the awards in the categories "Best Bachelor's thesis", "Best Master's thesis" and "Best graduate career".

We hope that the participants of the Mechatronics Platform Conference will benefit from valuable encounters, discussions, and insights. We wish them an inspiring event.

Programm

Konferenz der Mechatronik Plattform Österreich 20.11.2023, FH Campus Wien

13.00 – 13.30
Registrierung

13.30 – 13.45
Begrüßung, Eröffnung und Vorstellung der Mechatronik Plattform Österreich

Rektor FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Heimo Sandtner, FH Campus Wien; Mag. Dr. Bernhard Mingler, FH Campus Wien;
DI Viktorio Malisa, Mechatronik Plattform Österreich

13.45 – 18.15
Vorträge zum Themenschwerpunkt „Digital Manufacturing and Sustainable Development"

- **Einsatz künstlicher Intelligenz Methoden in der Steuerung von Fertigungsprozessen – Anwendungsbeispiele und Forschungsprojekte**
  Dr. Selim Erol, FH Wiener Neustadt
- **Der Weg zur Net Zero Factory**
  Richard Leopold, MSc, Phoenix Contact GmbH
- **Echtzeitanalyse von Curling Defekten beim selektiven Lasersintern mittels Laserprofilometrie und Wärmebildtechnik**
  Victor Klamert, MSc, FH Campus Wien
- **Tuning materials for additive manufacturing: from small parts to large**
  DI Dr. Maria Vozárová et al., RHP-Technology GmbH
- **Aus dem Hörsaal zum Wettbewerb – mechatronische Anwendungen in Studierenden-Teams**
  DI[in] Irene Schrutek, FH Campus Wien

15.45 – 16.15
Pause

- **Digital Manufacturing with Hot Lithography**
  Dipl.-Ing. Peter Mooslechner, Cubicure GmbH
- **Spatial augmented reality in der industriellen Großgerätemontage: Entwicklung eines digitalen Assistenzsystems mit in-situ-Projektion und nutzeradaptiver Gesteninteraktion**
  Dr. techn. Patrick Rupprecht, MSc MSc MA, FH Campus Wien
- **Digitaler Zwilling in der Produktentwicklung und Luftfahrtkomponentenprüfung bei TEST-FUCHS**
  Gabriel Meier, BSc MSc, TEST-FUCHS GmbH
- **Der Roboter als flexibler Helfer in der Produktion**
  FH-Prof. DI Dr. techn. Christian Gasser, FH Campus 02

18.15 – 19.00
Prämierungen

19.00 – 21.00
Buffet und Get-Together

Wir danken unseren Kooperationspartner*innen für die Unterstützung.

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, Absolvent*innen 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 | Mag. Dr. Bernhard Mingler | fh-campuswien.ac.at
- FH Kärnten, Villach
  Systems Engineering/Systems Design | FH-Prof. DI Dr. Wolfgang Werth | fh-kaernten.at
- MCI Management Center Innsbruck, Innsbruck
  Mechatronik | DI Dr. Andreas Mehrle | mci.edu
- FH Oberösterreich, Wels
  Automatisierungstechnik/Robotic Systems Engineering | FH-Prof. Dr. Roman Froschauer
  Mechatronik/Wirtschaft | Prof. (FH) Dr.-Ing. Martin Jordan | fh-ooe.at
- FH Vorarlberg, Dornbirn
  Mechatronik (Bachelor) | Prof. (FH) Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Schneider | fhv.at
  Mechatronik (Master) | DI Dr. Johannes Steinschaden | fhv.at
- FH Wiener Neustadt, Wiener Neustadt
  Mechatronik/Mikrosystemtechnik | Prof. (FH) DI Wolfgang Haindl | fhwn.ac.at

WO AUS TECHNIK FORTSCHRITT WIRD.

CAMPUS 02 GRAZ
FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

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

DAS STUDIUM AN DER SCHNITTSTELLE

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

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

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

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

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

STUDIUM UND BERUF

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

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

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

Forschungsschwerpunkte:

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

	BACHELORSTUDIENGANG Smart Automation	BACHELORSTUDIENGANG Automatisierungstechnik	MASTERSTUDIENGANG Automatisierungstechnik-Wirtschaft
Organisationsform	Vollzeit, berufsermöglichend	Berufsbegleitend	
Studienbetrieb	Montag bis Mittwoch	Freitagnachmittag und Samstag	
Studienort	Graz	Graz und steirische Partnerregionen	Graz
Studienbeitrag	€ 363,36 pro Semester zuzüglich ÖH-Beitrag		
Semesterstart	Mitte September		
Studienplätze/Jahr	25	58	33
Studiendauer	6 Semester (17 Wochen/Semester)		3 Semester (17 Wochen/Semester)
Abschluss	Bachelor of Science in Engineering, BSc		DiplomingenieurIn, Dipl.-Ing., DI
ECTS	180 Credits		90 Credits

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

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

FH CAMPUS WIEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Karriere ist eine Frage der Technik.

Bachelor- und Masterstudium
High Tech Manufacturing

Jetzt bewerben
www.fh-campuswien.ac.at/technik

Foto: FH Campus Wien/Ludwig Schedl

SYSTEMS

SYSTEMS ENGINEERING
BACHELOR | VOLLZEIT & 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 ab dem 3. Semester 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 dabei in einem eigenständigen Projekt vertieft. Im abschließenden Berufspraktikum wird das bisher Erlernte in einem betrieblichen Umfeld angewendet.

BERUF UND KARRIERE

Absolvent*innen verfügen über die Fähigkeit, interdisziplinäre Problemstellungen zu lösen und Projekte fachübergreifend zu koordinieren. Damit eröffnet sich ein weites Berufsfeld:

- Automatisierungstechnik
- Elektronik und Elektrotechnik
- Halbleitertechnik
- Mess- und Sensortechnik
- Regelungstechnik
- Robotik
- Umwelttechnik

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 und teilweise Sa (Präsenzlehre mit Online-Anteilen)
BB: Mo & Mi ab 17:40 Uhr (Hybrid) Fr ab 16:00 Uhr (Präsenzlehre oder Hybrid), Sa ganztags (Präsenzlehre).

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 and Sat all day
(classroom teaching with online parts)

Location:
Campus Villach Europastraße 4, 9524 Villach

KÄRNTEN University of Applied Sciences

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

Vollzeit | Deutsch

BACHELOR

Mechatronik, Design & Innovation

AUFBAU

1. Semester: Mechatronische Grundlagen
2. – 5. Semester: Kern- & Wahlmodule
5. oder 6. Semester: Wahlweise ein internationales Semester an einer renommierten Partneruniversität oder Lehrveranstaltungen am MCI; 12-wöchiges Berufspraktikum im Inland oder Ausland
6. Semester: Entrepreneurship, Bachelorarbeit und Bachelorprüfung

AKADEMISCHER GRAD

Bachelor of Science in Engineering | B.Sc. | BSc*

**Führung des akademischen Grades in Verbindung mit dem Zusatz „MCI" zulässig*

ZEITMODELL

Vollzeit

SPRACHE

Deutsch sowie teilweise Englisch

INHALTE

• Mechatronik & Ingenieurswissenschaften	26%
• Maschinenbau, Elektrotechnik & IT	28%
• Management & Sprachen	6%
• Wahlmodule	26%
• Bachelorarbeit & Berufspraktikum	14%

SCHWERPUNKTE

Maschinenbau, Automatisierungstechnik, Leistungselektronik, Embedded Systems, Robotik, Data Science, Management

BERUFSFELDER

- Konstruktion & Auslegung von Maschinen
- Qualitätssicherung, Instandhaltung, Service & Management
- Mess-, Steuer- & Regelungstechnik
- Automatisierung von Anlagen und Gebäuden
- Planung, Projektierung & Ausführung von Anlagen
- Forschung, Entwicklung & Technologietransfer

VORAUSSETZUNG

Personen mit Hochschulreife
Personen ohne Hochschulreife mit einschlägiger beruflicher Qualifikation und Zusatzprüfungen in den Fächern Mathematik, Physik, Englisch und Deutsch

STUDIENBEITRAG

- Für Studierende aus EU- & EWR-Staaten: EUR 363,- / Semester zuzüglich gesetzlichem ÖH-Beitrag
- Studierende aus Drittstaaten: EUR 5.000,- / Semester zuzüglich gesetzlichem ÖH-Beitrag; Stipendium: www.mci.edu/stipendien

BEWERBUNG

Schriftliche Aufnahmeprüfung (20%)
Werdegang (30%)
Kommissionelles Bewerbungsgespräch (50%)

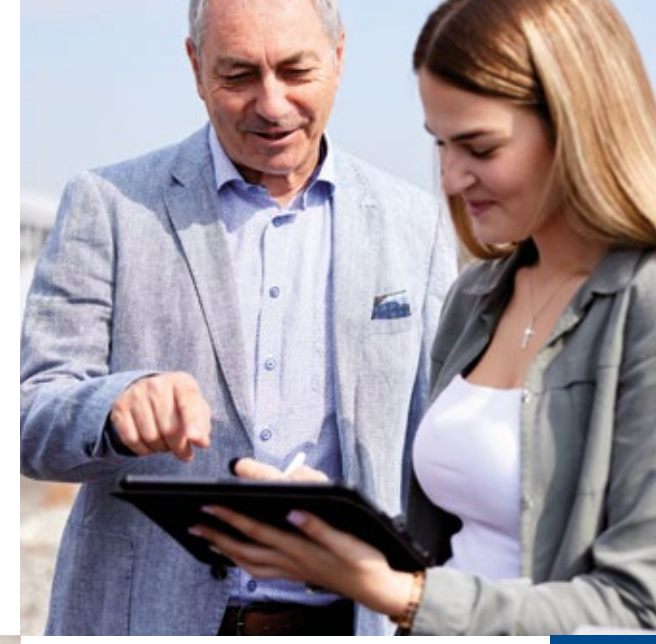
AUFBAUENDE MCI MASTER

- Mechatronics & Smart Technologies
- Mechatronik & Smart Technologies
- Medical Technologies
- Umwelt-, Verfahrens- & Energietechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen

03 / 2022

MCI | DIE UNTERNEHMERISCHE HOCHSCHULE®
Universitätsstraße 15, A-6020 Innsbruck
+43 512 2070-3900, office@mci.edu
www.mci.edu

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES UPPER AUSTRIA



Tausche Herausforderungen gegen Lösungen.

Informiere dich über ein Studium am Campus Wels.

- Nachhaltige Technologie & Werkstoffe
- Nachhaltige Innovation, Design & Wirtschaft
- Saubere Energie & Nachhaltiges Bauen
- Umwelt & Lebensmittel

Die Fragestellungen der aktuellen Klima- und Energieproblematik sind komplex.

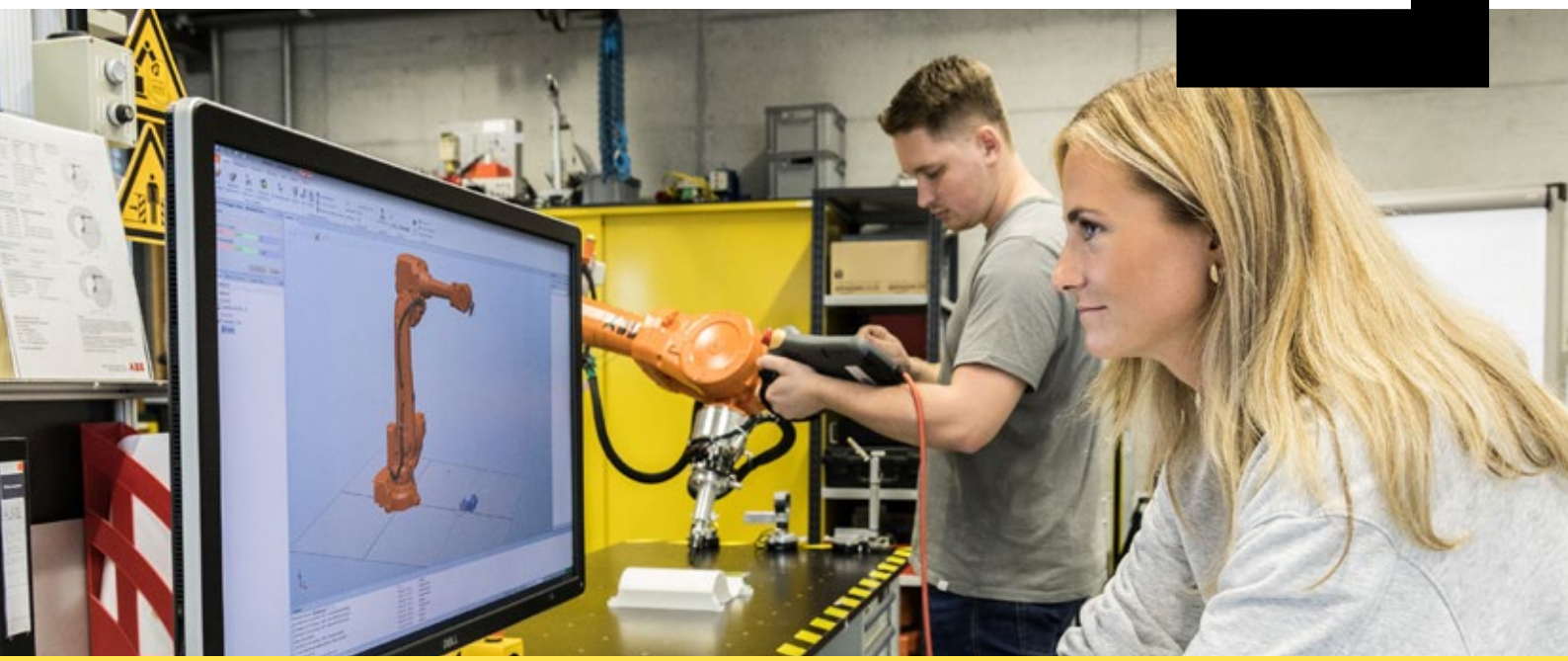
Du hast die Zukunft in der Hand!

Bring dich weiter

fh-ooe.at /campus-wels

Campus Wels

Chancen entdecken, Zukunft gestalten



Techniker:innen gefragt

Mit einem breiten Branchen- und Technologiemix zählt der Wirtschaftsstandort Vorarlberg zu den wirtschaftsstärksten Regionen Europas. Die Fachhochschule Vorarlberg (FHV – Vorarlberg University of Applied Sciences) baut auf starke Partnerschaften mit Unternehmen und Organisationen in der Region. Studierende profitieren von diesem Netzwerk während und nach ihrer Studienzeit.

Robotik, eine Karriere in der Medizintechnik oder in der Automatisierung großer Industrieanlagen – Absolvent:innen des Bachelorstudiums Mechatronik sind gefragt – national wie international. Vielfältig und zukunftsträchtig ist das Masterstudium Mechatronics. Durch Wahl- und Vertiefungsmöglichkeiten entwickeln Studierende ein eigenständiges Profil.

Technik an der FHV studieren

Bachelor-Studiengänge:	
Elektronik und Informationstechnologie Dual, BSc	**DUAL**
Informatik – Digital Innovation, BSc	**BB**
Informatik – Software and Information Engineering, BSc	**VZ**
Mechatronik, BSc	**VZ + BB**
Umwelt und Technik, BSc	**VZ**
Wirtschaftsingenieurwesen, BSc	**BB + DUAL**

Master-Studiengänge:	
Informatik, MSc	**VZ**
Mechatronics, MSc	**VZ**
Nachhaltige Energiesysteme, MSc	**BB**
Wirtschaftsinformatik – Digital Transformation, MSc	**BB**

VZ – Vollzeitstudium
DUAL – duales Studium **BB –** berufsbegleitendes Studium

Alle Studiengänge unterhalten internationale Kooperationen. **Double Degrees** sind auch möglich, z.B. Mechatronik, BSc und Mechatronics, MSc.

FHV
Vorarlberg University
of Applied Sciences

Campus V, Hochschulstraße 1
6850 Dornbirn, Austria

Neugierig?
Entdecke unsere Fachhochschule und ihre technischen Studiengänge! **fhv.at/technik**

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 4.500 Studienplätze in aktuell 44 Bachelor- & Masterstudien in deutscher & englischer Sprache an. Mehr als 500 MitarbeiterInnen und 1.300 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, Elekt- ronik 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 Raumfahr
Intelligent Systems & Mobility
Micro- & Nanoengineering

SHORTFACTS MASTER

DAUER
4 Semester

ECTS
120, Organisationsform: Berufsermöglichend

SPEZIALISIERUNGEN
Additive Manufacturing
Computational Engineering
Mechatronic Systems

Vorträge zum Themenschwerpunkt

Digital Manufacturing and Sustainable Development

EINSATZ KÜNSTLICHER INTELLIGENZ METHODEN IN DER STEUERUNG VON FERTIGUNGSPROZESSEN – ANWENDUNGSBEISPIELE UND FORSCHUNGSPROJEKTE

Erol, S.

Kurzfassung: *Steigende Anforderungen an Fertigungsprozesse erhöhen die Komplexität von damit verbundenen Steuerungsaufgaben. Algorithmen, Technologien und Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) bieten Möglichkeiten klassische starre regelbasierte Steuerungssysteme in adaptive Systeme weiterzuentwickeln. Die Komplexität und mangelnde Kompetenz in der Implementierung von KI-basierten Systemen stellt Unternehmen heute vor große Herausforderungen. In dieser Arbeit werden Anwendungsfelder für KI-basierte Methoden und Technologien in der Steuerung von Fertigungsprozessen aufgezeigt. Ebenso werden praktische Anforderungen an solche zukünftigen Systeme im industriellen Umfeld dargestellt, sowie die Vielfalt von verfügbaren Methoden und Technologien. Die sich daraus ergebenden Forschungsfelder für Mechatronik-Ingenieur*innen werden anhand von beispielhaften Forschungsprojekten skizziert.*

Schlüsselwörter: *Künstliche Intelligenz, Fertigung, Steuerung.*

1. EINLEITUNG

Steigende Anforderungen an die ökologische Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Qualität von Fertigungsprozessen haben die Komplexität von damit verbundenen Steuerungsaufgaben erhöht. Algorithmen, Technologien und Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) bieten vielfältige Möglichkeiten klassische starre regelbasierte Steuerungssysteme in adaptive lernfähige Systeme weiterzuentwickeln. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, dass die Komplexität von KI-basierten Steuerungssystemen die vorhandenen Kompetenzen und Kapazitäten in Unternehmen vielfach übersteigt.

In dieser Arbeit sollen beispielhaft Anwendungsfelder für KI-basierte Methoden und Technologien in der Steuerung von Fertigungsprozessen aufgezeigt werden. Dazu werden praktische Anforderungen aus dem industriellen Umfeld dargestellt, sowie die Potentiale von verfügbaren KI-Methoden und Technologien. Die vielfältigen Aufgabengebiete und Forschungsfelder für Mechatronik-Ingenieur*innen werden anhand von beispielhaften Forschungsprojekten skizziert.

2. PROBLEMBEREICH FERTIGUNGSSTEUERUNG

Fertigungssysteme im industriellen Umfeld sind heute komplexe soziotechnische Systeme in dem ein optimales Zusammenspiel von Maschine und Mensch angestrebt wird. Die Steuerung von einzelnen Fertigungsprozessen, Anlagen und Maschinen am Feld („shop-floor“) erfolgt heute im Allgemeinen sowohl vertikal integriert mit den darüberliegenden Planungsebenen (siehe Abb. 1) und horizontal integriert mit vor- und nachgelagerten Lager-, Transport, und anderen Fertigungs- und Montageprozessen. Diese vertikale und horizontale Integration erfolgt im wesentlichen durch den Austausch von Daten zwischen den einzelnen damit verbunden technischen Ebenen.

Die Entwicklung von stabilen Kommunikationsstandards, Netzen und netzwerkfähigen in Maschinen eingebetteten Mikrocomputern („IoT“) war für diesen Datenaustausch die Grundvoraussetzung. Insbesondere müssen diese Systeme auch den harschen Umgebungsbedingungen wie sie in Fertigungsumgebungen vorkommen, langfristig standhaltenden (z.B. Hitze, Staub, Vibrationen, Feuchtigkeit). Neben dem Datenaustausch in Echtzeit wurde damit das Sammeln von Daten über den Zustand von Maschinen und Werkstücken im Fertigungsprozess vereinfacht.

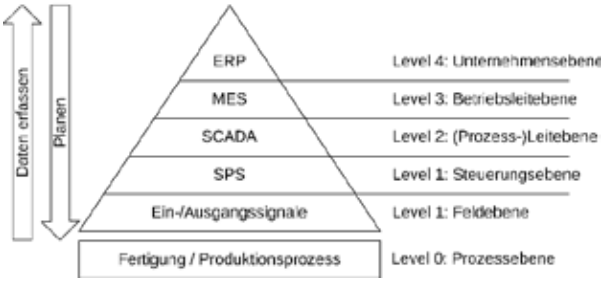


Abb. 1: Planungs- und Steuerungsebenen in der Fertigung

Fertigungsprozesse und damit zusammenhängende Prozesse wie Qualitätssicherung und Instandhaltung erfordern heute eine sorgfältige Steuerung, also den laufenden Vergleich von Planvorgaben und dem tatsächlichen Stand der Fertigung. Daraus abgeleitet müssen Parameter eines Fertigungsprozesses laufend angepasst und korrigiert werden. Klassische Steuer- und Regelkreise folgen im Allgemeinen starren vom Menschen vorgegebenen Regeln. Neben sogenannten hart verdrahteten Steuerungen („hard-wired“) haben sich hier vor allem programmierbare Steuerungen („soft-wired“) durchgesetzt. Typische Einsatzbereiche dieser Steuerungen sind in der Automatisierung und Verkettung von Handhabungs-, Transport- und Fertigungsschritten in einer .

Während in den vergangenen Jahrzehnten vor allem die Sicherheit und Leistungsfähigkeit von solchen Steuerungen im Vordergrund der Entwicklung stand, sind heute Aspekte wie die datenmäßige Integrierbarkeit und Vernetzungsfähigkeit von Steuerungen wichtig, um die Adaptivität und in weiterer Folge Autonomisierung gesamter Fertigungsprozesses zu ermöglichen. Dies begründet sich auch in der zunehmenden Variabilität und Volatilität geforderter Material- und Produkteigenschaften (Trend zur Individualisierung) sowie der Stochastizität von Störungen (Maschinen- und Materialfehler, Trend der zunehmenden Komplexität). Regelbasierte Ansätze sind für diese Anforderungen nur bedingt geeignet. Insbesondere, weil sie mit Variabilität, Volatilität und großen Volumina von Daten (z.B. in Prozess- und Maschinendaten) nur sehr eingeschränkt umgehen können.

3. POTENTIAL KÜNSTLICHER INTELLIGENZ

Der Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz in Steuerungssystemen ist hier je nach der Art der eingesetzten Methode vielversprechend, weil diese in Ergänzung zu regalbasierten Systemen potentiell folgende Eigenschaften aufweisen (Wahlster 2017).

a. **Lernfähigkeit**, d.h. sie können mit Variabilität und Volatilität in Daten besser umgehen und sind damit auch adaptiv. Regeln werden nicht a priori festgelegt, sondern angelernt.

b. **Leistungsfähigkeit,** d.h. sie können mit großen Datenmengen ressourceneffizient umgehen. Damit können auch verschiedene Datenquellen, z.B. auch Umgebungsdaten, in Echtzeit[1] mit einbezogen werden.
c. **Entscheidungsfähigkeit,** d.h. sie können auf Basis von definierten Zielen und gegebenen Daten eigenständig entscheiden (also steuern).

In der Praxis haben sich **drei große Problem- und Anwendungsbereiche** für Künstliche Intelligenz in der Fertigungssteuerung ergeben.

1. Optimierung von Fertigungsprozessen in Hinblick auf Durchlaufzeiten und Materialeinsatz
2. Zustandsüberwachung von Werkstoffen und -stücken im Fertigungsprozess
3. Zustandsüberwachung von Maschinen-, Werkzeugen und Anlagen

Diese groben Anwendungsbereiche beinhalten viele verschiedene Aufgabenbereiche und sind je nach Branche und Unternehmen sehr unterschiedlich ausgeprägt.

4. BEISPIELHAFTE FORSCHUNGSPROJEKTE

Das Instituts für Industrial Engineering und Management (IIEM) der Fachhochschule Wiener Neustadt hat in den letzten Jahren eine Fokus auf die Erforschung von Anwendungsbereichen für KI in der Fertigung gelegt. Eine Erkenntnis daraus ist, dass es je nicht die eine KI-Methode gibt, sondern je nach Anwendungsbereich und Aufgabenbereich mehr oder weniger geeignete Methoden zur Verfügung stehen. Im FFG geförderten Projekt IntelliProPS entwickeln wir dazu eine Entscheidungshilfe für Unternehmen.

Beispielhafte Anwendungsbereiche und wie KI-Methoden hier eingesetzt werden können, werden im Weiteren anhand von Forschungsprojekten des IIEM mit der Industrie beschrieben.

4.1 Anwendungsbereich in-line real-time Qualitätsprüfung

Qualitätsprüfung ist in der Fertigungssteuerung ein wichtiger Prozessschritt, der darüber entscheidet, ob ein Fertigungsprozess erfolgreich war oder nicht. Traditionellerweise erfolgt diese Qualitätsprüfung noch immer durch den Menschen und am Ende eine Fertigungsprozesses. Unternehmen gehen heute dazu über den Zustand (die Qualität) eines Werkstückes möglichst über den ganzen Prozess zeitnah zu erfassen, um rechtzeitig auf Abweichungen reagieren zu können und damit so wenig wie möglich Ausschuss zu produzieren.

In zwei Forschungsprojekten (Spezialmaschinenbau, Gemüseverarbeitung) setzen wir zu diesem Zweck so genannte Convolutional Neural Networks (CNN, O'Shea, K., & Nash, R. 2015) in Verbindung mit Kameratechnik direkt an der Fertigungslinie ein (Shaloo, M. et al. 2023). CNNs bieten einen skalierbareren Ansatz für die Bildklassifizierung und Objekterkennung. Sie nutzen Methoden der linearen Algebra, z.B. der Matrixmultiplikation, um Objekte innerhalb eines Bildes zu identifizieren. Allerdings sind sie rechenintensiv und benötigen zum Trainieren von Modellen Grafikprozessoren (GPUs).

Im Anwendungsfall Gemüseverarbeitung wird der Zustand von Gemüse nach dem Schneidvorgang und vor der Weiterverarbeitung in einem Extraktionsturm über eine über dem Förderband montierte Kamera erfasst, ein vortrainiertes CNN schätzt dann den Zustand der Gemüseschnitzel ein und meldet die Qualitätsklasse zurück. So können Farbe, Größe, Verteilung der Schnitzel grob erfasst werden. Auf Basis dieser Einschätzung können dann im Extraktionsturm entsprechende Prozessparameter eingestellt werden, um eine konstante Qualität des extrahierten Saftes sicherzustellen.

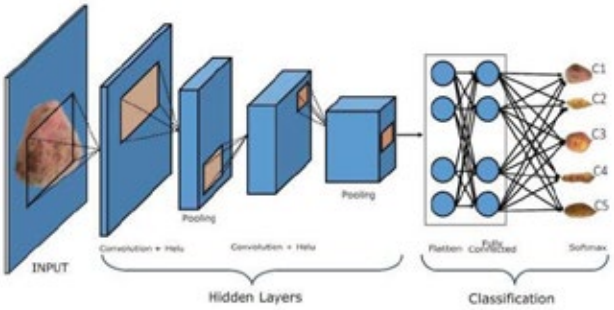


Abb. 2: Klassifizierung von Gemüsequalitäten mittels CNN (Mercurio, D.I., & Hernandez, A.A. 2019)

Im Anwendungsfall Spezialmaschinenbau werden in ähnlicher Weise Oberflächenfehler nach dem Pressvorgang von Bremsbelägen mittels Kamera erfasst und dann mittels eines angelernten CNN klassifiziert. Auf Basis dieser Klassifizierung kann dann in Echtzeit direkt an der Maschine entschieden werden, ob der Bremsbelag neu gefertigt werden muss. In beiden Fällen soll diese Qualitätsprüfung in Echtzeit passieren. Das stellt eine Herausforderung an das neuronale Netz dar, weil beide Prozesse (Gemüseschnitt, Bremsbeläge) im Sekundenbereich gefertigt werden, die komplexe Berechnung hinter der Fehlererkennung dafür jedoch leistungsstarke Rechner benötigt. Hier ist die spezielle Herausforderung ein Optimum zwischen Genauigkeit und Schnelligkeit zu finden.

4.2 Anomalieerkennung in Maschinen- und Prozessdaten

Die laufende Überwachung des Zustandes von Maschinen, Sensoren und Prozessen ist für die Fertigung wichtig, weil dadurch Maschinenausfälle und -stillstände vermieden werden können.

In einem Forschungsprojekt mit einem Hersteller von Metallprofilen werden Bayes'sche Netze eingesetzt (Princz, G. et al. 2023). Ein Bayes'sches Netz besteht aus gerichteten zyklischen Graphen und einer Tabelle bedingter Wahrscheinlichkeiten, um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses zu ermitteln. In diesem Forschungsprojekt entwickeln wir auf Basis der Maschinen- und Prozessdaten aus einem Metallwalzwerk ein System, dass es erlaubt Unregelmäßigkeiten in Datenreihen sicher zu erkennen, Fehler zu diagnostizieren, daraus mögliche Ursachen abzuleiten und automatisch Handlungsanweisungen zur Fehlerbehebung zu generieren.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Vielfalt der Anwendungsbereiche in der Fertigung einerseits und die Vielfalt der Methoden der Künstlichen Intelligenz stellen Unternehmen vor Herausforderungen. Dies bietet viele Potentiale und neue Betätigungsfelder für Mechatronik-Ingenieur*innen. Eine Erkenntnis aus den Forschungsprojekten des IIEM ist, dass hier interdisziplinäre Ansätze gefragt sind wo

Mechatroniker mit Informatikern und Produktionstechnikern zusammenarbeiten. Die wissenschaftliche Forschung ist im Hinblick darauf gefragt Orientierungshilfen zu entwickeln, in Pilotstudien Anwendungsmöglichkeiten aufzuzeigen und KI-Ansätze auf ihre Effizienz und Effektivität hin zu bewerten. Anhand von aktuellen Forschungsprojekten des IIEM wurden zwei konkrete Anwendungsbereiche von KI-Methoden aufgezeigt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Mercurio, D.I., & Hernandez, A.A. (2019). Classification of Sweet Potato Variety using Convolutional Neural Network. 2019 IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET), 120-125.

O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks.

Princz, G., Shaloo, M, Erol, S. (2023): Anomaly Detection in Binary Time Series Data: An unsupervised Machine Learning Approach for Condition Monitoring. In: 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing ISM 2023. Lisbon. Procedia Computer Science (Hrsg.). Elsevier.

Shaloo, M., Princz, G., Erol, S. (2023): Flexible automation of quality inspection in parts assembly using CNN-based machine learning. In: 5th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing ISM 2023. Lisbon. Procedia Computer Science (Hrsg.). Elsevier. Lisbon, PT.

Wahlster, W. (2017). Künstliche Intelligenz als Grundlage autonomer Systeme. Informatik Spektrum 40, 409–418.

AUTOR

Dipl.-Ing. Dr. rer. soc. oec. Selim Erol

Institut für Industrial Engineering und Management, Fachhochschule Wiener Neustadt, selim.erol@fhwn.ac.at

Abschluss Studium Maschinenbau an der TU Wien; Doktorat in Wirtschaftsinformatik an der WU Wien; 10 Jahre Industrieerfahrung; seit 2008 Forschung und Lehre an der WU Wien, TU Wien und FH Wiener Neustadt; Projektleiter für Aufbau der Pilotfabrik Industrie 4.0 (TU Wien) und Innovation Lab Industrie 4.0 (FHWN); seit 2020 Leitung Institut für Industrial Engineering und Management (FHWN), Autor zahlreicher Fachbeiträge, Buchkapitel und Vortragender auf internationalen Konferenzen im Bereich Produktionstechnik und -management.

FH CAMPUS 02: DER ROBOTER ALS FLEXIBLER HELFER IN DER PRODUKTION

FH-Prof. DI Dr. techn. Christian Gasser

FACHVORTRAG

Bisweilen fertigen Roboter vollautomatisch, in erster Linie in Fabriken, viele unserer Produkte des täglichen Bedarfs. Diese Roboter in den komplexen Anlagen sorgen aber auch für Ängste da sie oft als Sinnbild der Arbeitskraftverdrängung stehen. In Zeiten des Fachkräftemangels und starkem Preisdruck im internationalen Wettbewerb wird der Ruf der Roboter zunehmend aufpoliert und als willkommene Hilfe in der Produktion gesehen. Aktuell zählen Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit in diesem Kontext leider noch nicht flächendeckend zu den größten Vorteilen.
Moderne Robotersysteme ermöglichen zwar bereits heute den flexiblen Robotereinsatz in der Produktion. Aber erst durch die Einbindung von digitalen Zwillingen und angepasster Systemgestaltung im Kontext „DIGITAL MANUFACTURING“ werden bestehende Hemmschwellen massiv abgebaut. Erst dadurch kann der Roboter als flexibler Helfer die fehlende Arbeitskraft in der Produktion ersetzen bzw. diese für höherwertige Aufgaben freispielen.
Wie solche Systeme aufgebaut sind, worauf man achten sollte und was die Vorteile sind, wird in diesem Vortrag dargestellt und mit praktischen Beispielen aus dem Mechanical Engineering and Robotics Lab (Abbildung 1) der FH CAMPUS 02 untermauert.

Abb. 1: MER-Lab (FH CAMPUS 02)

VORTRAGENDER

Christian Gasser

CAMPUS 02 Fachhochschule der Wirtschaft GmbH
Departmet Automatisierungstechnik
Körblergasse 126, 8010 Graz / AUSTRIA
Tel: +43 316 6002-8118
Email: christian.gasser@campus02.at

DI Dr. techn. Christian Gasser lehrt und forscht an der FH CAMPUS 02 am Department Automatisierungstechnik zum Thema Handhabungstechnik. Er beschäftigt sich mit der Produkt- als auch mit der Prozess- und Anlagenentwicklung im Bereich der Handhabungstechnik.

DER WEG ZUR NET ZERO FACTORY

Markus Kick – Richard Leopold

Kurzfassung: *Damit das Ziel der Net-Zero-Emission von der weltweit wichtigen Lebensmittelindustrie einfach und wirtschaftlich erreicht werden kann, hat Phoenix Contact unter Beachtung der Rahmenbedingungen der All Electric Society die Digital Factory now geschaffen. Das Konzept stellt für den industriellen Sektor ein generisches, skalierbares sowie modular einsatzfertiges System bereit, das den Ansprüchen der Digitalisierung, Effizienz und Nachhaltigkeit gleichermaßen gerecht wird.*

Schlüsselwörter: *Digitalisierung, PLCnext, Nachhaltigkeit, Net-Zero-Factory.*

1. EINLEITUNG

Zur erfolgreichen Umsetzung langfristiger und nachhaltiger Klimastrategien müssen alle Bereiche eines produzierenden Unternehmens - vom Rohstofflager und dem Gemengehaus über die individuelle Fertigung sowie dem Verpackungs- und Lagerbereich bis zum Gebäude selbst - betrachtet werden. Geschieht dies nicht, scheitern die Ansätze zur Reduzierung von Treibhausgasen oder der Erfüllung von Richtlinien zur Umwelt- und Wesentlichkeitsanalyse eines Unternehmens oftmals.

Um Ressourcenaufwände zu senken, zu optimieren und auszugleichen besteht die Aufgabe der Betriebe darin, den Medienverbrauch einzelner Produktionslinien und Verfahrensbereiche bis hinunter zum Sensor sowohl lokal als auch global zu erfassen – und das einfach und schnell. In den Bestandsanlagen der hybriden Industrie werden zur Lebensmittelherstellung unterschiedliche flüssige und gasförmige Medien eingesetzt, beispielsweise Erdgas-/Luftgemische zur Wärmebehandlung der Thermoprozesse im Back- und Schmelzverfahren oder in Kühlprozessen. Hier ist jeder Kubikmeter Erdgas respektive jeder Liter Wasser nicht nur effizient, sondern vor allem ressourcenschonend und intelligent zu nutzen. Eine solche Methodik muss in einer sich ständig erweiternden und interoperabel vernetzenden Fertigung möglich sein, in der es keine Rolle spielt, ob die Anlage 20 Jahre und älter ist oder nachträglich eine neue Misch-, Schneide- oder Rühreinheit mit modernem Kommunikationssystem – zum Beispiel Prozess- und Leitsystem – installiert wird. Ebenfalls sollte es keine Bedeutung haben, ob es sich um einen diskreten oder verfahrenstechnischen Bereich innerhalb der Fabrik handelt.

2. GENERISCHES, SKALIERBARES SOWIE MODULAR EINSATZFERTIGES SYSTEM

Als Lösung für eine CO2-neutrale Zukunft bietet sich die All Electric Society an. Diese Zukunftsvision beschreibt eine Welt, in der regenerativ erzeugte elektrische Energie als primäre Hauptenergieform fungiert, die im Überfluss, absolut wirtschaftlich und vollkommen CO2-neutral zur Verfügung steht. Die Industrie nimmt eine Schlüsselrolle bei der angestrebten Klimaneutralität ein, denn mit ihren Lösungen elektrifiziert sie sämtliche anderen Sektoren, etwa Gebäude, Mobilität, Energie und Infrastruktur. Damit das Ziel der Net-Zero-Emission von der weltweit wichtigen Lebensmittelindustrie als einem der großen industriellen Sektoren einfach und wirtschaftlich erreicht werden kann, hat Phoenix Contact unter Beachtung der Rahmenbedingungen der All Electric Society die Digital Factory now geschaffen. Das Konzept stellt für den industriellen Sektor ein generisches, skalierbares sowie modular einsatzfertiges System bereit, das den Ansprüchen der Digitalisierung, Effizienz und Nachhaltigkeit gleichermaßen gerecht wird.

Wie viele Unternehmen der Lebensmittelindustrie hat Phoenix Contact als Elektronikhersteller das klare Ziel, bis 2030 entlang der gesamten Wertschöpfungskette klimaneutral zu agieren. Daraus ergibt sich für die System- und Applikationsentwicklung des Unternehmens, dass die Lösungen, die den Anwendern unter anderem zur Effizienzsteigerung in einer nachhaltigen Produktion angeboten werden, vorher in den eigenen Fabriken und deren Netzwerken erprobt worden sind. Dies geschieht beispielsweise industrieunabhängig und offen in der Digital Factory am Standort Bad Pyrmont. Aus der Untersuchung resultierte des Weiteren der Anwendungsfall „Medienmessung und Berichtswesen mit der eigenen Cloudlösung Proficloud.io und dem offenen Ecosystem PLCnext Technology“.

Abb. 1: PLCnext Factory in Bad Pyrmont: die Fabrik, welche eine nachhaltige Digitalisierung sowie die Erfahrungen innerhalb eines offenen Ecosystems darstellt

Aufgrund der Erweiterung der Richtlinien zur nachhaltigen Wesentlichkeitsanalyse und gesellschaftlichen Verantwortung der Wirtschaft zum Beispiel um die CSR-Definition (Corporate Social Responsibility), muss die komplette Industrie handeln. Gemäß dem Statistischen Jahrbuch 2019 (destatis.de), Statistics | Eurostat (europa.eu) sind davon in Deutschland mehr als 45.000 und in Europa über zwei Millionen fertigende Unternehmen betroffen. Wollen die Verantwortlichen ihren Betrieb in eine wirtschaftlich erstrebenswerte, smarte und digitale Zukunft führen, erweist es sich als unerlässlich, eine Fabrik ganzheitlich zu betrachten und zu analysieren.

3. WELTWEIT NUTZBARE LÖSUNG FÜR ALLE VERSORGUNGSMEDIEN

Insbesondere wegen der aktuellen wirtschaftlichen und weltpolitischen Situation der Ressourcenknappheit hat Phoenix Contact im Kontext der Digital Factory now ein modulares Digitalisierungs- und offenes Lösungskonzept erarbeitet. Dieses beinhaltet neben anderem fertige ebenso wie individuelle Schaltschranklösungen gemäß dem Black-Box-Prinzip für jede Produktionsumgebung, also auch explosionsgefährdete Bereiche. Das Konzept lässt sich über das eigene globale Cloudsystem Proficloud.io für eine einzelne, wie zahlreiche Fabriken weltweit ausrollen. Dabei ist es unerheblich, ob Erdgas, Wasser, Stickstoff, Schweröl, elektrische Energie oder andere Medien erfasst werden sollen. Das PLCnext-basierte IIoT-Framework ermöglicht die nahtlose Steuerung, Darstellung und Auswertung von Verbräuchen und Mischverhältnissen. Darüber hinaus können Daten offen sowie ohne weitere Datensilos zwischen der Feldebene und den überlagerten Systemen – beispielsweise Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution System (MES), Distributed Control System (DCS) oder Cloud – zugriffssicher ausgetauscht werden.

Gerade jetzt nutzen diese Eigenschaften den Betreibern von Erdgas-Luft-beheizten Schmelz- und Backöfen. Das wichtige Verbrennungsverhältnis wird im Bestandsprozess mit nur minimalinvasiven Angleichungen parallel optimiert, ohne in die Stationen, Maschinen oder Anlagen im CE-Prozess einzugreifen. Stillstände sind somit ausgeschlossen und kostspielige externe Installationskosten werden vermieden. Durch den konsequenten Einsatz von freien, offenen Machine-Learning-Apps über den digitalen Marktplatz PLCnext Store lässt sich eine zustandsorientierte Überwachung und Diagnose pro Sensor in das selbstlernende System integrieren oder nachrüsten. In diesem Zusammenhang ist es unerheblich, ob es um Differenzdruckwächter, Thermoelemente im Backofen respektive im Erdgas oder den Mengenmessumformer in der Luftzuführung geht. Mit wenig Investitionen gelingt so ein wirtschaftlich nachhaltiger CO2-Fußabdruck pro Brötchen, Waffel oder Keks im parallelen Betrieb mit hoher Zeitersparnis und Effektivitätssteigerung. In der Fertigung von Phoenix Contact am Standort Bad Pyrmont hat sich die Gesamtanlageneffektivität mit diesem Ansatz in lediglich 18 Monaten auf der Grundlage von nur drei bis fünf Prozent der anfallenden Daten pro Anlage um mehr als zehn Prozent erhöht. Das entspricht dem Faktor 5 im Vergleich zu konventionellen Automatisierungssystemen.

Abb. 2: Erdgasversorgungs- und -verteilerstation mit einem Netzwerksegmentierungs- und Fernzugriffsschaltschrank gemäß IEC 62443 von Phoenix Contact

„Wir sind die letzte Generation, die eine realistische Chance hat, eine Klimakatastrophe abzuwenden“, sagt Linus Steinmetz, der sich seit 2018 bei Fridays for Future engagiert. Gerade für einen wesentlichen Industriezweig wie die Nahrungsmittelherstellung kann Phoenix Contact gemeinsam mit seinen branchenspezifischen Anwendern eine langfristige Veränderung in Richtung CO2-Neutralität erwirken. Grundlage dafür ist die hohe Innovationskraft des Leitbilds der All Electric Society auf Basis eines ganzheitlichen Ansatzes, der eine nachhaltige Digitalisierung in einer offenen Automatisierungslandschaft umfasst.

AUTORS

Markus Kick

International Business Development Manager,
Phoenix Contact Electronics, Bad Pyrmont

Richard Leopold

Technical Sales / Field Application Engineer,
Phoenix Contact, Österreich

FH CAMPUS WIEN: IN-SITU-ANALYSE VON CURLING DEFEKTEN BEIM SELEKTIVEN LASERSINTERN MITTELS LASERPROFILOMETRIE UND WÄRMEBILDTECHNIK

Klamert Victor

Kurzfassung: *Die Additive Fertigung (AM) ist eine der Schlüsseltechnologien in der industriellen Fertigungstechnik. Jedoch stellt eine effiziente Prozessüberwachung nach wie vor große Herausforderungen dar. In diesem Beitrag wird ein Echtzeit- und In-situ-Ansatz für die Überwachung des Prozesses beim Pulverbettschmelzen von Polyamid (PBF-LB/P/PA12) präsentiert, bei dem zwei Sensoren gleichzeitig eingesetzt werden, was die Überlagerung und den direkten Vergleich von unabhängigen Ausgangsdaten ermöglicht. Ein industrielles Laserprofilometer und eine Wärmebildkamera (IR) wurden in ein kommerzielles PBF-LB/P System integriert. Durch die Manipulation von Prozessparametern wurden künstlich erzeugte Curling Defekte auf reproduzierbare Weise induziert. Die radiometrischen Daten wurden ausgewertet und zu 3D-Topologie- und Profilmessungen verarbeitet, um Spitzenwerte und den Verlauf von Curling aufzuzeigen. Die unter verschiedenen Pulverbettbedingungen gemessenen Ergebnisse wurden mit entsprechenden thermografischen Daten verglichen, um die thermische Sichtbarkeit von Curling und den Einfluss einer inhomogenen Temperaturverteilung auf geometrische Oberflächendefekte zu zeigen. Der Versuchsaufbau ermöglichte die Vermessung der gesamten Pulverbett-Oberfläche innerhalb der Maschine, ohne Beschränkung auf Teilbereiche.*

Schlüsselwörter: *Additive Fertigung, Polyamid, Lasersintern, Laserprofilometrie, Wärmebild*

1. EINLEITUNG

Die additive Fertigung ist aus der heutigen Industrie nicht mehr wegzudenken. Nach anfänglichen Anwendungen wie dem funktionalen Prototyping ist diese Technologie nun in der Lage, qualitativ hochwertige Teile zu niedrigen Kosten, in kurzen Lieferzeiten, mit hoher Wiederholgenauigkeit und aus verschiedenen Materialien - von Kunststoffen bis hin zu hochfesten Titan-Nickel-Legierungen – herzustellen (Ngo et al. 2018). Trotz der fortgeschrittenen Entwicklung des selektiven Lasersintern (PBF-LB/P - laser based powder bed fusion of polymers) können jedoch während des Prozesses nach wie vor verschiedene Defekte wie Curling, Verschiebung von Bauteilen und Beschichtungsfehler durch verunreinigtes Pulver auftreten (Westphal und Seitz 2021). Diese Fehler können die Bauteileigenschaften beeinflussen und bis hin zu einem totalen Prozessabbruch führen. Vorangegangene Untersuchungen haben bereits gezeigt, dass es möglich ist Curling im Pulverbett mittels Wärmebildkamera zu erkennen, jedoch konnte mit dieser Technologie keine Aussage über die tatsächliche Höhe des Fehlers getroffen werden (Klamert et al. 2022). Curling ist als Aufwölbung der Randbereiche einzelner Bauteile aus dem Pulverbett definiert. Weiters gibt es Untersuchungen zur Vermessung des Pulverbetts mittels Laserprofilometrie, jedoch konnten bisher nur kleine Teilbereiche vermessen werden (Sillani et al. 2022). Das Ziel dieser Arbeit war eine vollflächige Prozessüberwachung mittels Laserprofilometer und simultaner Wärmebildtechnik, um die gesamte Pulverbettüberfläche erfassen zu können. Durch die gezielte Manipulation des Prozesses konnten Curling defekte künstlich und reproduzierbar hervorgerufen werden, um die Einsatztauglichkeit der Prozessüberwachung zu zeigen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Der Schwerpunkt der Problemstellung liegt eindeutig auf der Zugänglichkeit des Lasersintersystems. Diese Maschinen Bilden ein in sich geschlossenes System, das den Zugriff auf Software und Hardware kaum bis gar nicht ermöglicht. Außerdem herrschen während des Prozesses im Bauraum der Sinteranlage bis zu 170 °C Betriebstemperatur, was den Einsatz von Sensoren im Inneren fast unmöglich macht (Greiner et al. 2019). Auf Basis dieser Anforderungen musste eine Methodik entwickelt werden, um das gesamte Pulverbett mittels zwei außerhalb positionierter Sensoren zu erfassen und vermessen zu können, ohne die Messergebnisse zu beeinflussen. Weiters musste der Prozess zielführend und reproduktiv manipuliert werden, um Curling Defekte zu simulieren, ohne eine Prozessabbruch hervorzurufen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine selektive Lasersinteranlage vom Typ EOS FORMIGA P 110 (EOS, Krailling, Germany) verwendet. Das System verwendet einen CO2-Laser mit einer Ausgangsleistung von 30 W um die Pulverpartikel im Pulverbett zu verschmelzen. Als Pulver ist PA12 (PA 2200) zum Einsatz gekommen. Das System ist in der Lage, innerhalb des Scanbereichs (xy) von 200 mm × 250 mm Scangeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s zu erreichen und dabei eine Schichtdicke von mindestens 50 µm und maximal 200 µm zu verschmelzen. Die maximale Bauteilhöhe (z) beträgt 330 mm. Um den Bereits beschriebenen Defekt im Pulverbett künstlich zu simulieren, wurde die Prozesstemperatur von 167 °C im System schrittweise herabgesenkt, bis der gewünschte Effekt aufgetreten ist. Bei einer Absenkung um 3 % auf 162 °C waren erste Zielführende Ergebnisse erkennbar. Weiters wurde die layer cooling time verlängert, um den Effekt weiter zu verstärken. Zur Erfassung der Temperaturverteilung auf der Pulverbettoberfläche wurde eine FLIR T420 (FLIR Systems, Wilsonville, USA) Infrarotkamera eingesetzt. Die Kamera liefert Wärmebilder in Echtzeit mit einer Auflösung von 320 × 240 Pixeln, 30 Bildern pro Sekunde und einem Sichtfeld von 25°. Als zusätzlicher Sensor wurde ein industrielles Laserprofilmesssystem LJ-X8400 von Keyence (Keyence, Osaka, Japan) mit einer Lineareinheit entlang des Prozessfensters bewegt, um die Topologie des gesamten Pulverbetts zu erfassen. Die Codierung erfolgte über die Lineareinheit, was bei einer Pulverbettbreite von 250 mm und einer Encoder Auflösung von 10 µm (x) zu 25.000 Profilschritten führte. Das System hat eine vertikale Auflösung von 5 µm und ein Profildatenintervall von 50 µm.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Vermessung des Pulverbetts und der anschließende Abgleich mit den thermographischen Ergebnissen in Abbildung 1 zeigt deutliche Übereinstimmungen bei den gemessenen Werten und der zugehörigen Temperaturverteilung.

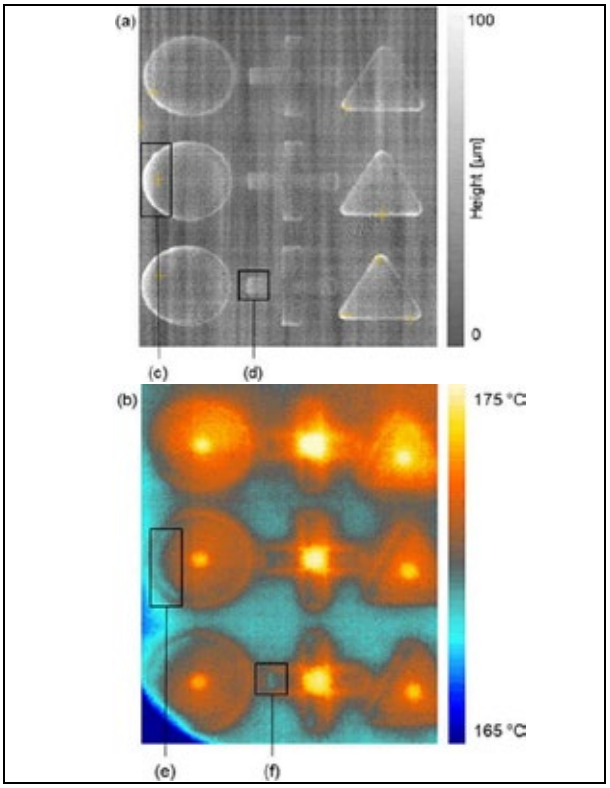


Abb. 1: Topologie der Pulverbett-Oberfläche (a) nach der Neubeschichtung. Die zugehörige Temperaturverteilung in (b). Deutlich sichtbare Zusammenhänge zwischen der gemessenen Höhe des Curling (c, d) und den Temperaturfeldern an den freien Kanten der Bauteile (e, f).

Um den tatsächlichen Höhenverlauf des Fehlers darstellen zu können wurden anschließend Profilschnitte in der xz Ebene erstellt, dargestellt in Abbildung 2.

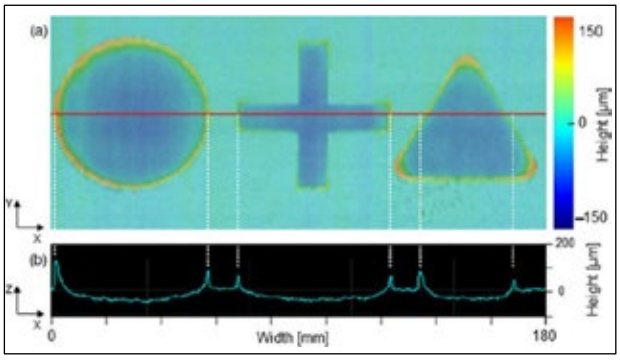


Abb. 2: Topologie (a) eines Segmentbereichs der Pulverbett-Oberfläche nach der Laserbelichtung und der zugehörige Profilschnitt (b).

5. ERGEBNISSE

Die Daten der beiden unterschiedlichen Sensorkonzepte wurden sowohl einzeln betrachtet, um unabhängige Ergebnisse abzuleiten, als auch zusammengeführt, um Korrelationen zwischen der Temperaturverteilung und der Fehlerentstehung aufzeigen zu können. Die lineare Führung des Laserprofilometers ermöglichte es, eine 3D Topologie der gesamten Pulverbettoberfläche zu erstellen. Somit konnte eine exakte Übereinstimmung der fehlerhaften Bereiche auf den Wärmebildern und den 3D-Topologiekarten bestätigt werden, was die verifizierbare Erkennung von Curling Defekten durch die Wärmebildtechnik weiter untermauert. Durch die Extraktion von Profilschnitten aus der 3D Topologie konnten Fehler im Pulverbett exakt vermessen und Curling Verläufe detailliert dargestellt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Studie zeigt die Implementierung einer Echtzeit-Prozessüberwachung für das selektive Lasersintern von Kunststoffen mit zwei unterschiedlichen Sensorkonzepten. Es wurde jedoch erneut deutlich, dass die Beeinflussbarkeit der Prozessparameter nach wie vor begrenzt ist und ein aktives Eingreifen in den Prozess bei Überschreitung der gemessenen Grenzwerte nicht möglich ist. Weiterhin ist zu betonen, dass die Ergebnisse nur für den vorgestellten Ansatz relevant sind, da die Kalibrierung einzelner Maschinen und Sensortypen stark variieren kann.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Greiner, S.; Wudy, K.; Wörz, A.; Drummer, D. Thermographic investigation of laser-induced temperature fields in selective laser beam melting of polymers. Opt. Laser Technol. 2019, 109, 569–576. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.08.010

Klamert, V.; Schmid-Kietreiber, M.; Bublin, M. A deep learning approach for real time process monitoring and curling defect detection in Selective Laser Sintering by infrared thermography and convolutional neural networks. Procedia CIRP 2022, 111, 317–320.

Ngo, T.D.; Kashani, A.; Imbalzano, G.; Nguyen, K.T.Q.; Hui, D. Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. Compos. Part B Eng. 2018, 143, 172–196.

Sillani, F.; MacDonald, E.; Villela, J.; Schmid, M.; Wegener, K. In-situ monitoring of powder bed fusion of polymers using laser profilometry. Addit. Manuf. 2022, 59, 103074.

Westphal, E.; Seitz, H. A machine learning method for defect detection and visualization in selective laser sintering based on convolutional neural networks. Addit. Manuf. 2021, 41, 101965.

AUTOR

Victor Klamert
FH Campus Wien, High Tech Manufacturing, Favoritenstrasse 226, victor.klamert@fh-campuswien.ac.at

Beruflicher Werdegang: 2015–Dato, FH Campus Wien, Lehre & Forschung, High Tech Manufacturing, Fachbereiche: Konstruktion & Simulation, Additive Fertigung, Materialwissenschaften, Fertigungstechnik, Robotik, Formula Student, RoboCup

Ausbildung: 2010–2015, Bachelor/Masterstudium High Tech Manufacturing, FH Campus Wien

SPATIAL AUGMENTED REALITY IN DER INDUSTRIELLEN GROSSGERÄTEMONTAGE: ENTWICKLUNG EINES DIGITALEN ASSISTENZSYSTEMS MIT IN-SITU-PROJEKTION UND NUTZERADAPTIVER GESTENINTERAKTION

Dr. techn. Patrick Rupprecht, MSc MSc MA

Kurzfassung: *Ein Spatial Augmented Reality System mit dynamischer In-Situ Projektion und nutzeradaptiver Gesteninteraktion für die industrielle Großgerätemontage wurde mithilfe der Forschungsmethode Design Science Research entwickelt und in der Pilotfabrik der TU Wien demonstriert. Die Evaluierung erfolgte in mehreren Experimenten mit Methoden zur Messung der Usability, Montage-Taskzeit und der kognitiven Arbeitsbelastung. Die Ergebnisse zeigen den Mehrwert des Assistenzsystems für Mensch und Unternehmen, indem es beim schnellen Auffinden von Montageorten, der Führung durch den Prozess sowie bei der direkten Informationsbereitstellung und Interaktion unterstützt.*

Schlüsselwörter: *Design Science Research, Spatial Augmented Reality, In-Situ-Projektion, Industrielle Großgerätemontage*

1. EINLEITUNG

Die industrielle Großgerätemontage (z. B. bei Zügen, Getrieben, Flugzeugkomponenten, Großmaschinen etc.) ist aufgrund der großen Montageobjekte, der geringen Losgrößen und der verschiedenen Bereitstellungsflächen geprägt durch einen geringen Automatisierungsgrad, einen hohen manuellen Arbeitsanteil und den Bedarf an qualifizierten Mitarbeiter:innen. Die Anzahl der industriellen Montagearbeitsplätze beträgt konservativ geschätzt ca. 50 000 der rund 270 000 Industriearbeitsplätze im Bereich der Großproduktefertigung in Österreich (Statistik Austria 2019).

2. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Der große Arbeitsbereich erfordert die Kenntnis der Bereitstellungsorte der Montageobjekte sowie deren Montagepositionen. Derzeit erfolgt die Informationsbereitstellung über Papieranweisungen oder zentrale PC-Terminals, was zu langen Informationswegen führt. Zudem fehlt die Informationsbereitstellung und Interaktionsmöglichkeit direkt am Montageobjekt und eine dynamische Unterstützung im Montageprozess ist nicht vorhanden. Bestehende Konzepte zur Informationsbereitstellung beziehen sich auf statische Projektoren für einen kleinen Arbeitsbereich. Die Entwicklung eines Assistenzsystems mit einfacher Projektion über eine große Arbeitsfläche stellt daher einen hohen Bedarf dar. Ein Spatial Augmented Reality System mit dynamischer In-Situ-Projektion zur Informationsbereitstellung und Assistenz für die Anforderungen der Großgerätemontage stellt den Kern der Entwicklung dar. Ziel ist, einen Beitrag zur Verbesserung der Informationsbereitstellung und Interaktionsgestaltung im Kontext der industriellen Großgerätemontage zu schaffen.

3. METHODEN UND THEORETISCHER HINTERGRUND

Das Forschungsvorhaben wurde nach der Design-Science-Research-Methode (Hevner et al. 2004) umgesetzt, welche eine iterative Vorgehensweise mit mehreren Design- & Evaluierungszyklen ermöglicht. Die Design-Artefakte wurden mittels Demonstratoren (Abb. 1) in der TU Wien Pilotfabrik aufgebaut und evaluiert.

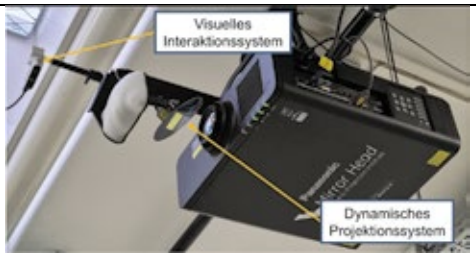


Abb. 1: Spatial Augmented Reality System (Rupprecht, 2022)

Der Mehrwert für Mensch und Unternehmen wurde anhand standardisierter Evaluierungsmethoden zu Usability (Brooke 1996), kognitiver Arbeitsbelastung (Hart 2006) sowie Task Completion Time (Funk 2016) umgesetzt.

Spatial Augmented Reality verzichtet auf das Tragen von Geräten und nutzt Projektionssysteme zur Informationsbereitstellung. Das Projektionssystem zur dynamischen Informationsbereitstellung wurde für den Einsatz in der industriellen Großgerätemontage adaptiert und mit einem Interaktionssystem verknüpft. Es nutzt einen hochauflösenden Projektor und ein digital steuerbares Spiegelsystem zur Umlenkung des Projektionsstrahls (Dynamic Projection Institute 2015).

Für die Interaktion wurden eine RGB-Kamera (Intel RealSense D435i) und ein echtzeitfähiger Objekterkennungsalgorithmus (YOLO) (Redmon et al. 2016) zur Steuerung des Projektionssystems mittels Gesten eingesetzt. Darüber hinaus wurden Gestaltungselemente zur intuitiven und projektionsgerechten Informationsgestaltung sowie zur dynamischen In-Situ-Projektion am Demonstrator erprobt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

Das Assistenzsystem wurde in drei Experimenten in zwei unterschiedlichen Montage-Use-Cases evaluiert. In Experiment 1 und 2 wurde die Informationsbereitstellung mittels dynamischem Projektionssystem und PC-Terminals verglichen und verschiedene Informationsdesigns sowie die dynamische In-Situ-Projektion mit Informationsführung zur jeweiligen Montageposition evaluiert. Im abschließenden Experiment 3 wurden die Verbesserungen der dynamischen Projektion (In-Situ-Projektion mit Informationsführung zur Entnahme- und Montagestation) und der nutzeradaptiven Interaktion evaluiert. Hierbei wurde die Informationsbereitstellung und Interaktion mittels Spatial Augmented Reality mit einem statischen Tablet verglichen (Abb. 2). Die Bewertung erfolgte anhand der Ermittlung der Montagezeit sowie der Bewertung der Usability und der kognitiven Arbeitsbelastung.

Abb. 2: Informationsbereitstellung Spatial Augmented Reality im Vergleich zur Tablet-Anweisung (Rupprecht, 2022)

Das finale Experiment wurde von 30 Personen (63,33 % männlich, 23,33 % weiblich, 13,33 % keine Angabe) mit einem Alter zwischen 19 und 53 Jahren durchgeführt. Aus den Ergebnissen der kognitiven Arbeitsbelastung (Abb. 3) wurde festgestellt, dass der Total RTLX Score bei der dynamischen In-situ-Projektion mit 33,2 Punkten im Vergleich zur Tablet-Anweisung mit 37,3 Punkten besser bewertet wurde.

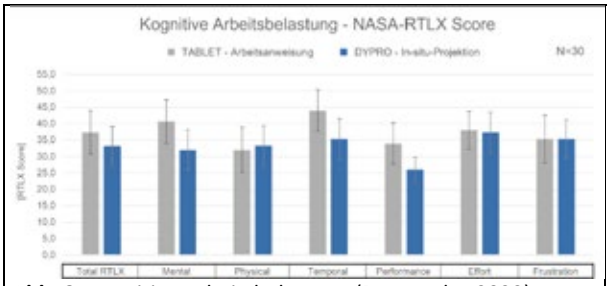


Abb. 3: Kognitive Arbeitsbelastung (Rupprecht, 2022)

Die Analyse der Taskzeiten (Abb. 4) geben einen Überblick über die Dauer des Montageprozesses sowie über die Verbesserung durch das Assistenzsystems. Die In-situ-Projektion und dynamische Informationsführung bringt im Use Case der Spielzeugbausteinmontage Verbesserungen im Bereich der Lokalisierungszeiten sowie der Reduktion der kognitiven Arbeitsbelastung. Neben der Verbesserung des Zeitanteils zum Lokalisieren der Montageposition um 39,5 %, konnte durch die dynamische Führung zur Entnahmeposition der Zeitanteil „Lokalisieren Bauteil“ um 50,9 %, im Vergleich zur Tablet-Arbeitsanweisung, verbessert werden. Die Gestenerkennungszeit konnte im Vergleich zum Experiment 2 um den Faktor 4 verbessert werden und eignet sich für den Einsatz in der Großgerätemontage.

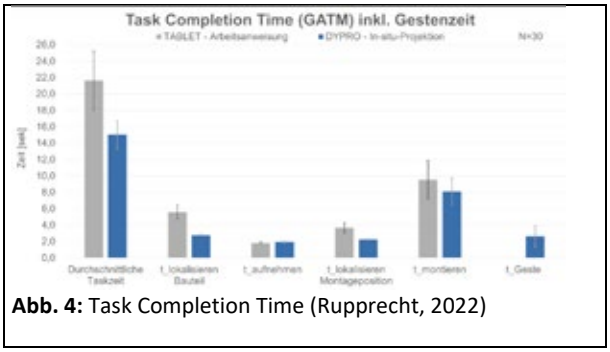


Abb. 4: Task Completion Time (Rupprecht, 2022)

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann aus der Evaluierung des Assistenzsystems ermittelt werden, dass durch die In-Situ-Projektion und dynamischer Führung zur Entnahme- und Montageposition eine Verbesserung der Lokalisierungszeit der Bauteilpositionen erreicht wurde und damit der Montageprozess, bei gleichzeitiger Reduktion der kognitiven Arbeitsbelastung, effizienter gestaltet wurde. Ebenso eignet sich die Gesteninteraktion zur Steuerung des Projektionssystem. Vor allem zeigte sich, dass das Spatial Augmented Reality Assistenzsystem eine gute Usability aufweist, auf weitere Anwendungsfälle in der Großgerätemontage skalierbar ist sowie eine Verbesserung der Informationsbereitstellung und Interaktion bringt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Brooke, J., 1996. SUS: A quick and dirty usability scale. In *Jordan, P, W, B. Thomas, McClelland, I, L & B. Weerdmeester (Ed.), Usability evaluation in industry*. Taylor & Francis.

Dynamic Projection Institute, 2015. Vorrichtung zum Projizieren eines Bilds (DE202013010365U1).

Funk, M., 2016. Augmented reality at the workplace : a context-aware assistive system using in-situ projection.

Hart, S. G., 2006. Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904–908

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. & Ram, S., 2004. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* Vol. 28 No.1, pp. 75–105

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. & Farhadi, A., 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*

Rupprecht, P., 2022. Spatial Augmented Reality in der industriellen Großgeräte- und Baustellenmontage: Entwicklung eines Assistenzsystems mit dynamischer In-situ-Projektion und nutzeradaptiver Gesteninteraktion [Dissertation]. Technische Universität Wien

Statistik Austria, 2019. WKO Statistik: Industriebeschäftigte nach Branchen. Verfügbar unter: http://wko.at/statistik/jahrbuch/sach-ibesch-branchen.pdf

AUTOR

Dr. techn. Patrick Rupprecht, MSc MSc MA

Externer Lektor FH Campus Wien (High Tech Manufacturing), patrick.rupprecht@edu.fh-campuswien.ac.at; Researcher an der FHWien der WKW (Institute for Digital Transformation & Strategy), 06645523442

Studien: Wirtschaftsingenieur, High-Tech Manufacturing, Entrepreneurship & Applied Management; Promotion im Forschungsbereich Mensch-Maschine-Interaktion am Institut für Managementwissenschaften an der TU Wien. Mehrjährige Berufserfahrung in der Automotive-Industrie, als Start-up Gründe und Lektor an diversen Fachhochschulen.

TUNING MATERIALS FOR ADDITIVE MANUFACTURING: FROM SMALL PARTS TO LARGE

M. Vozárová, C. Belei, E. Ariza, L. Vály, M. Kitzmantel, E. Neubauer

Abstract: *Additive manufacturing became a key technology for production of the geometries which were not until recently achievable by traditional techniques. Specifically, ceramics and metals are due to their mechanical properties enormously challenging for shaping on miniature or very large scale. Material extrusion or lithography-based techniques are currently researched as solution for low-cost and/or high-resolution shaping techniques for both, ceramics, and metals. For XXL parts produced in near-net shape, PMD - Plasma Metal Deposition is involved as solution for space and aeronautic parts fabrication.*

Keywords: *Material extrusion, SLA, PMD, metals, ceramics*

1. INTRODUCTION

Additive Manufacturing is a process of producing components through deposition of material layer by layer on a base or substrate, or without one. A CAD design is created, and the data for each layer is saved as STL files, also known as stereolithography. The setup includes a PC that controls everything, robotic arms, CNC, nozzle, shielding environment, and scanning and recording systems. When compared to traditional machining procedures, Additive Manufacturing results in higher material utilization, a lower buy-to-fly ratio, lower processing and finishing costs, less time, improved mechanical properties, and many more benefits. These characteristics are market drivers that are attracting the attention of researchers all over the world.

These attributes are driving factors for markets that are attracting the attention of researchers all over the world. In certain cases, these technologies produce complicated and elaborate geometries with such precision that no finishing steps are necessary. Aerospace and automotive components with lower weight and high strength are the target markets. The use of additive manufacturing processes has greatly reduced the weight of the components. Since the last century, various technologies for the effective and efficient deposition of materials have evolved, including material extrusion, stereolithography, and plasma metal deposition, all of which are being explored at RHP-technology.

The strength and mechanical properties of the manufactured components of various sizes are then evaluated. Defects like as porosity, cracks, delamination, thermal stresses, and so on are seen, and the methods to mitigate or totally eradicate them are of particular interest to RHP technology researchers. Experiments are also carried out on a variety of base materials, polymer coatings, binding materials, and so on. Increasing dimensional accuracy and reducing the requirement for machining of produced parts is also a major focus of current research efforts around the world. Researchers are investigating methods to reduce faults or weaknesses in materials that yield defective models.

2. PROTOTYPING AND μ-3D PRINTING OF VERY SMALL PARTS WITH GREAT GEOMETRICAL COMPLEXITY

Material extrusion if a significant AM technology that is routinely applied in commercial, research and hobbyist sector, primarily for extrusion of thermoplastics. The success of material extrusion processes lies in their relatively low implementation complexity and high availability since they can be applied in low-cost commercial 3D printers with or almost any adjusting. In material extrusion processes, filament or pellets are used. The adaptation for ceramics and metals printed parts includes the preparation of feedstock composites consisting of thermoplastics highly filled with ceramic and metallic powders. Material extrusion utilizes the experiences and knowledge from powder injection molding for all the processes following the shaping by 3D printing, namely debinding and sintering of the metal or ceramic filler. The binder system might differ from typical binder systems used for PIM, as the needs of a filament or a pellet fed through a low-pressure screw are differing from the standard processing parameters.

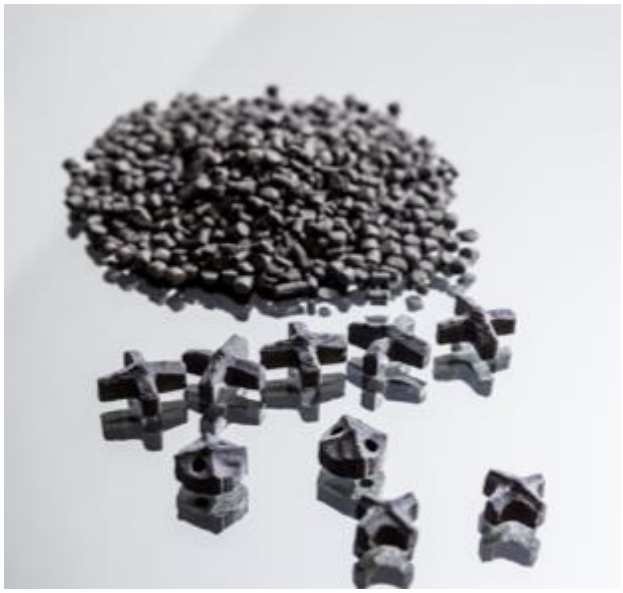


Fig. 1: Pelletized WC-Co pellets and 3D printed parts.

Using material extrusion processes, we have successfully prepared Cu parts for heat transfer application, W and WC-Co parts for wear applications Ti, and stainless steel for space and automotive, B_4C (Vozárová, 2023) and alumina (Orlovská 2020), for ballistic and many more.

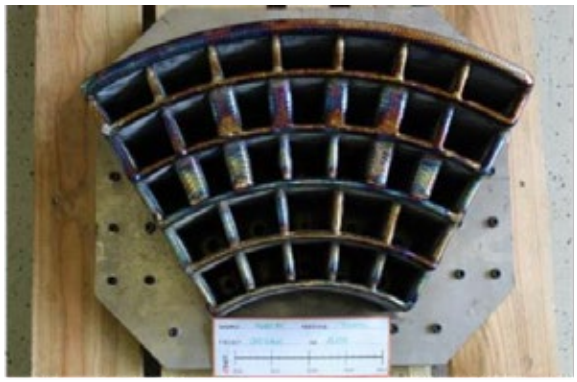
To achieve high resolution in additively manufacturing part, lithography-based methods are very efficient. In this approach, UV sensitive polymer is mixed with polymeric or metallic powders and the required 3D shaped part is produced layer by layer by selective polymerization of the composite slurry or paste. The disadvantage is the high initial cost of the SLA devices available on the market. Al_2O_3, ZrO_2, Ti, NiTi with shape memory properties in space applications were produced for space, wear and biomedical application (Vály, 2017). The difference in surface resolution achievable by material extrusion and metal lithography compared to injection molding process is shown in Fig. 2.

Fig. 2: Comparison of surface finished of WC-Co parts prepared by material extrusion (left) injection molding (middle) and lithography (right).

The advantage of all described processes is in the geometrical freedom. Using these technologies, the material does not need to be wasted in machining process and can be again and again recycled in new prints. The machining of the molds is not necessary and design optimization is easy and possible and any moment.

3. APPLICATION OF XXL 3D PRINTING IN SPACE

Plasma metal deposition, developed by RHP Technology, is a cutting-edge direct energy deposition additive manufacturing technique that harnesses the power of a plasma torch as its energy source, accommodating both wire and powder as feedstock materials. This innovative technology enables the construction of large near-net shape parts, offering a distinct advantage over conventional manufacturing methods like milling from solid blocks due to its significantly reduced material waste, resulting in a lower buy-to-fly ratio. By precisely depositing metal layer by layer, this method offers enhanced efficiency and sustainability, making it a promising solution for industries seeking cost-effective and environmentally conscious production of complex, large-scale components.



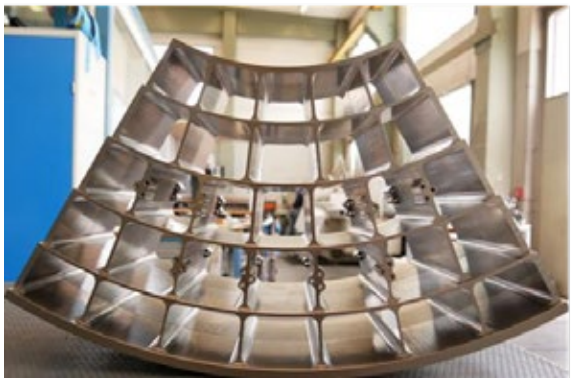


Fig. 3: Athena telescope demonstrator as build by PMD process (top) and machined (bottom).

The example of cost and material saving aspects during the large part development for space application is Athena demonstrator co-developed by RHP-technology in ESA project. The goal of this project was to assess the ability of the technique for the manufacturing of space hardware and components with size larger than 0.5 m.

Conventionally would have to be such large parts machined from block of Ti alloy. Using PMD, the shape is built using titanium alloy as either metal particles or wire feedstock into near net shape part and only then machining is applied to achieve good dimensional and surface resolution. The Table 1 shows the comparison of material usage and waste if part is machined by PMD and when only machining is applied.

Demonstrator	**PMD-AM**	**Machining**
Raw material need	290 kg	1600 kg
Final part weight	160 kg	160 kg
Buy to fly	1,8:1	10:1!
Material waste	130 kg	1440 kg!

Table 1: Calculation of material waste in 1 segment needed for space telescopes. In whole telescope, 6 segments are needed.

The results demonstrate good mechanical properties and finishing, meaning we are able to take the technology forward, including the investigation of alternative materials. Plasma metal deposition is a candidate method to manufacture large sized components in the future, such as the optical bench of the Athena mission, which will be the most complex part ever printed in all metals or alloys.

4. LITERATURE

Available from: https://rhp.at/en/our-beating-heart/esa-x-ray-eye

Vozárová, Mária, et al. "Preparation of fully dense boron carbide ceramics by Fused Filament Fabrication (FFF)." Journal of the European Ceramic Society 43.5 (2023): 1751-1761.

Sadaf, Mahrukh, et al. "Influence of Binder Composition and Material Extrusion (MEX) Parameters on the 3D Printing of Highly Filled Copper Feedstocks." Polymers 14.22 (2022): 4962.

Váły, Lilla, et al. "Preparation of titanium metal matrix composites using additive manufacturing." Key Engineering Materials 742 (2017): 129-136.

Quraishi, Arsad, et al. "Designing and Commercialization of Porous Emitter Electrospray Thruster for Space Applications." AIAA SCITECH 2023 Forum. 2023.

Neubauer, Erich, et al. "Titanium matrix composites with high specific stiffness." Key Engineering Materials 704 (2016): 38-43.

Orlovská, M., et al. "Fracture and mechanical properties of lightweight alumina ceramics prepared by fused filament fabrication." Journal of the European Ceramic Society 40.14 (2020): 4837-4843.

AUTHOR

DI Dr. Maria Vozarova
RHP-Technology GmbH, RHP-Technology GmbH
Austrian Research Center
2444 Seibersdorf, Austria
+43225520600,
m.vo@rhp.at
3D printing scientist at RHP-Technology
Dr. Vozarova studied at Slovak University of Technology in Bratislava at department of Inorganic Materials and Technologies. Her doctor thesis was carried out at the RHP-Technology GmbH and held title “Preparation and Sintering of Complex Shaped Boron Carbide Ceramics”.
Dr Vozarova is responsible for development of material for 3D printing and powder injection molding (feedstock, filaments, slurries, or pastes), establishment of thermal treatments, optimization of additive manufacturing processes and post-processing for functional ceramic and metallic materials used in armor and space industry.

Current Research topics:

- Additive manufacturing of shape memory alloys for space applications
- Manufacturing of low-cost cube-sats for low -orbit missions – material development and manufacturing
- Development of new light-weight materials for ballistic applications. Development of new shaping processes for already known ballistic materials
- Development of feedstock and inks for additive manufacturing of electrical components
- Development of the metal-diamond mixtures for the tape casting in manufacturing of cooling components
- Development of porous ceramics

Digital Factory: Die Zukunft beginnt heute

Produktivität erhöhen, Nachhaltigkeit steigern, Datensicherheit verstärken

Digital-Factory-Lösungen sind der Schlüssel für eine effiziente, nachhaltige und sichere Produktion. Und damit für mehr Wertschöpfung. Werden Sie vom Besitzer zum Manager Ihrer Daten, und nutzen Sie sie aktiv. Mit Digital-Factory-Lösungen verbessern Sie gleichzeitig die Produktivität und Nachhaltigkeit Ihrer Fabrik und stärken die Sicherheit Ihrer Produktion für mehr Resilienz und Stabilität.

Mehr Informationen unter Telefon (01) 680 76 oder **phoenixcontact.com/digitalfactory**

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

© PHOENIX CONTACT 2023

RHP SPACE

RHP inside.

NewSpace Technology made in Austria.

MATERIALS. PERFECTLY. TUNED.

Novel bulk materials with advanced properties.

www.rhp.at

Nominierungen

Beste Bachelorarbeit

FH CAMPUS 02: AUTOMATISIERUNGSLÖSUNGEN FÜR EINEN KONTINUIERLICHEN PRODUKTIONSPROZESS MITTELS FFF 3D-DRUCK

Grabler, F.

Kurzfassung: *Additive Fertigungsverfahren, wie auch der FFF-3D Druck „Fused Filament Fabrication", haben seit 2021 einen erheblichen Technologiesprung erlebt. Das Verfahren ist zugänglich, kostengünstig und für ein großes Teilespektrum im Sondermaschinenbau, eine nicht zu unterschätzende Möglichkeit Kosten zu sparen und Durchlaufzeiten zu senken. Um den größten Kostenpunkt für diesen Fertigungszugang zu minimieren, (Lohnkosten für die Vorbereitung der Druckdatei und die manuellen Be- und Entladetätigkeiten), wird der aktuelle Prozess in der Abteilung Automation and Robotics untersucht und optimiert. Das Kernthema dieser Arbeit ist die Analyse und Bewertung vorhandener Automatisierungs-Lösungen für den FFF 3D-Druck am Markt. Mit einer ausgewählten Lösung wird ein Konzept für zwei Ausbaustufen der Automatisierten Additiven Fertigung vorgestellt.*

Schlüsselwörter: *3D Druck, Automatisierung, Additive Manifacturing, FFF, FDM, kontinuierlicher 3D-Druck*

1. EINLEITUNG

Seit 2022 setzt die Abteilung Automation and Robotics der Firma Anton Paar GmbH, auch in den ausgelieferten Anlagen (Sondermaschinen für die Laborautomatisierung) auf 3D-gedruckte Teile, die in der Regel mit dem FFF 3D-Druck hergestellt werden. Grundlage hierfür sind unter anderem die Erkenntnisse aus der BAC-Arbeit „Teilespektrum für Kunststoff 3D-Druck im Sondermaschinenbau" von Herrn Grabler F. Im Zuge dieser BAC-Arbeit wurde das potenzielle Teile Spektrum für die Filament basierte Schmelzschichtung im Sondermaschinenbau eruiert. Durch den steigenden Bedarf an additiven Kapazitäten nach dieser Arbeit, wird eine Optimierung der Vorliegenden Produktion notwendig, um weiterhin Ressourcen schonend und kostengünstig produzieren zu können. Nach dem abgeschlossenen Druck wartet der Drucker auf die Bauteilentnahme und den erneuten manuellen Start. Dies fordert Zeit und generiert Stillstands Zeiten der Drucker, gerade in der Nacht oder am Wochenende. Die aktuell drei verwendeten Drucker kommen in Kapazitätsengpässe, weitere Druckeranschaffungen im manuellen Betrieb würden zu viel Personal binden.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Das behandelte Problem sind Kapazitätsengpässe bei den verwendeten 3D Druckern. Bei einer steigenden Anzahl von Druckern nimmt eine sogenannte Druckfarm erhebliche personelle Ressourcen in Anspruch. Der aktuell verwendete kartesische FFF-3D Drucker des Tschechischen Herstellers Prusa Research „Prusa MK3s+", arbeitet äußerst zuverlässig und ist kostengünstig. Die Funktionalität der Drucker wurde mit dem open source Projekt „Octoptint" für Fernzugriff, Überwachung und Datenmanagement erweitert. Trotzdem ist in dem Drucker aktuell im Technologievergleich am Mark mittlerweile veraltet.

Folgende Punkte sind bei der Marktuntersuchung und Bewertung der verschiedenen Lösungen zu berücksichtigen:

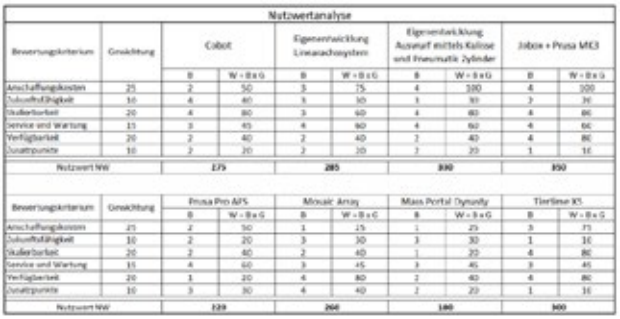
- Niedrige Investitionskosten.
- Die leichte Skalierbarkeit im Falle eines weiteren Ausbaus.
- Die Minimierung der benötigten Arbeitszeit pro Druckauftrag und die damit einhergehende Steigerung der Produktivität.
- Die Weiterverwendung und Integration der vorhandenen Drucker (nicht zwingend, aber anzustreben).

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Um die Häufigkeiten der notwendigen manuellen Plattenwechsel (=Bauteilentnahme), an einer Druckereinheit quantifizieren zu können, wurde die Druckdauer und das eingesetzte Material von 404 verschiedenen Druckjobs statistisch untersucht. Weiters wurde der Prozess von den vorliegenden Druckern von Auftragseingang bis hin zu dem fertigen Bauteil dokumentiert, um Verbesserungsmöglichkeiten identifizieren zu können. Für die Recherche von den Automatisierungslösungen wurden Hersteller direkt kontaktiert, Dokumente aus Fachmessen analysiert und das Internet durchsucht. Die verschiedenen Produkte/ Lösungen werden in einer Nutzwertanalyse miteinander verglichen und bewertet.

5. ERGEBNISSE

Am offenen Markt konnte kein fertiges Produkt gefunden werden, dass verschiedene FFF 3D-Drucker automatisiert. An diese Anforderung kommt eine Lösung mittels Cobot am nächsten. Dieser Ansatz muss jedoch als ein eigenes Entwicklungsprojekt umgesetzt werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen würden. Dasselbe gilt für ein eigenes Raumportal, wie es auch die Firma *„Mass Portal"* bietet. Auffällig ist, dass alle Anbieter einer Gesamtlösung auf dieses linear-Handling zurückgreifen. Alle Lösungen, die nicht vorab ausgeschlossen wurden, werden in der Nutzwertanalyse in Abb. 1 bewertet und durch die Multiplikation mit einer gewählten Gewichtung multipliziert.



Nutzwertanalyse									
Bewertungskriterium	Gewichtung	Cobot		Eigenentwicklung Linearachsensystem		Eigenentwicklung Auswurf mittels Kulisse und Pneumatik Zylinder		Jobix + Prusa MK3	
		B	W = B x G	B	W = B x G	B	W = B x G	B	W = B x G
Anschaffungskosten	25	2	50	3	75	4	100	4	100
Zukunftsfähigkeit	10	4	40	3	30	3	30	3	30
Skalierbarkeit	20	4	80	3	60	4	80	4	80
Service und Wartung	15	3	45	4	60	4	60	4	60
Verfügbarkeit	20	2	40	2	40	2	40	4	80
Zusatzpunkte	10	2	20	2	20	2	20	1	10
Nutzwert NW		275		285		330		350	

Bewertungskriterium	Gewichtung	Prusa Pro APS		Mosaic Array		Mass Portal Dynnity		Tierline X5	
		B	W = B x G	B	W = B x G	B	W = B x G	B	W = B x G
Anschaffungskosten	25	2	50	1	25	1	25	3	75
Zukunftsfähigkeit	10	2	20	3	30	3	30	1	10
Skalierbarkeit	20	2	40	2	40	1	20	4	80
Service und Wartung	15	4	60	3	45	3	45	3	45
Verfügbarkeit	20	1	20	4	80	2	40	4	80
Zusatzpunkte	10	3	30	4	40	2	20	1	10
Nutzwert NW		220		260		180		300	

Abb. 1: Ergebnis der Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

Die gefundenen Gesamtlösungen liefern immer eine eigene Druckeinheit, inklusive der Bauteil- oder Plattenentnahme. Dies ist mit der Betrachtung der Vielfalt an verschiedenen Druckeraufbauten am Markt verständlich. Förderband-Drucker sind vielversprechend, aber für den Großteil des Teilespektrums der Abteilung A&R nicht einsetzbar. Beispiele hierfür sind die Bauteil Oberflächen und die Ausrichtung der Druckschichten. Aufgrund der Nichterfüllung der Bauteileigenschaften werden Fließbanddrucker schon vorab aus der Bewertung ausgeschlossen. Für ein Teilespektrum, bei dem die Neigung der Druckdüse kein Problem darstellt, sind Drucker dieser Bauweise dennoch sehr interessant.

Die Analyse der Druckzeiten zeigt einen Median mit 5.5 h. Dieser ist weit entfernt von dem arithmetischen Mittelwert mit 9.2 h. Dies liegt daran, dass neben den Ausreißern die Verteilung „Rechtsschief" verteilt ist, dies bedeutet Aufträge mit langer Druckdauer verzerren die Statistik. Durch die Automatisierung und den „Einzelteildruck" wird in Zukunft eine kürzere Einzelteil Durchlaufs Zeit und Prozessstabilität erzielt. Daten dazu wurden noch nicht erhoben.

Das Standardmaterial PETG hat aktuell einen Anteil von 68% in der Druckhäufigkeit. Alle Automatisierten Drucker werden auf einen Ausschließlichen PETG-Betrieb umgestellt, um die Komplexität zu vermindern. Engineering Materialien wie PC oder PA12CF15 werden in einer manuellen Einheit mit Temperatur-Einhausung verarbeitet.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Als Fazit kann festgestellt werden, dass sich mittels einem kontinuierlichen Druckprozess durch die automatisierte Bauteilentnahme, die drei Kernbereiche der „Lean production" alle zum positiven verbessert haben. Auch wenn am Markt keine fertige Lösung gefunden wurde, die den Prozess Druckerunabhängig automatisiert, kann durch die Erweiterung des aktuellen Druckertyps die Produktivität, Produktqualität und die Flexibilität des Prozesses gesteigert werden.

Aktuell wird intern auf zwei Druckereinheiten das Jobox System ohne Auswurfschienen getestet, siehe Abb. 2. Als Zwischenfazit kann nach kurzen Startschwierigkeiten gesagt werden, dass die erste Phase sehr positiv verlaufen ist und das System voll integriert an der aktuellen Produktion teilnimmt. Somit ist eine Umsetzung des Konzepts der Ausbaustufe 1, mit fünf PrusaMK4+Jobox Druckereinheiten in naher Zukunft sehr wahrscheinlich.

Die Produktivität wird durch die wegfallende Stillstandszeit massiv gesteigert. Die Produktqualität wird durch das Upgrade auf den Nachfolgedrucker Prusa MK4 und die Einzelanordnung der Bauteile im Druckvorgang realisiert. Durch diesen Schritt steigt zudem die Flexibilität des Druckprozesses enorm, durch kurze Druckzeiten können einzelne Bauteile schneller vorgereiht und gefertigt werden. Durch das Auslagern des Slice Vorgangs an den jeweiligen Konstrukteur wird die Hierarchie des Prozesses weiterhin flach gehalten und zusätzliche Schritte und somit Zeit kann eingespart werden.

Mit dem Blick in die Zukunft: Ein aktiv beheiztes Gehäuse, welches sich automatisch für den Bauteilauswurf öffnet, zugeschnitten auf das PrusaMK4+Jobox System hat enormes Potential für die Industrie. Jedoch ist es unwahrscheinlich, dass die Abteilung A&R in der nahen Zukunft ein eigenes FFF-Farmsystem entwickelt. Die Kernkompetenzen dieser Abteilung liegen schlicht in der Laborautomatisierung.

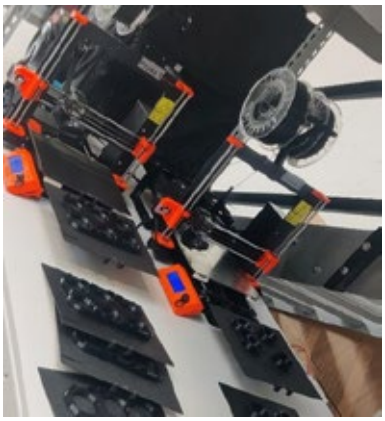


Abb. 2: Versuchsaufbau Prusa MK3 mit JobOx System, Quelle: Eigene Darstellung.

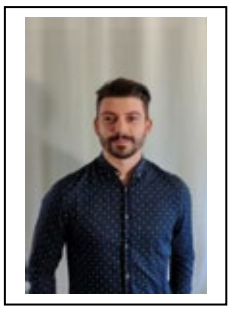
7. LITERATURVERZEICHNIS

Integrierte Produktion Hannover (IPH): *Lean Production als Teil des Lean Managements* https://bit.ly/3ZBGKwh

JobOx: *JobOx 3D-Druck-Automatisierungssystem für Prusa MK3S+* https://jobox.tech/de/products/jobox-3d-printing-autoamation-system

Pachatz, Wolfgang; Gaugg-Tsallis, Birgit; Höglinger, Wolfgang; Jennewein, Walter; Persoglia, Johann; Stradner, Heinz; (2011): *Betriebstechnik: Organisation, Kostenrechnung und Produktion*, MANZ, Wien

AUTOR



Florian Grabler, BSc.

Anton Paar GmbH/Automation and Robotics, H. Thalhammer-Straße 40, 8501 Lieboch,
+43 (0)316 257 2508, florian.grabler@anton-paar.com

Seit 09 2023: Anton Paar GmbH: Technical Sales Engineer
2019 – 2023: Anton Paar GmbH: Mechanical Engineer

2020 – 2023: FH Campus 02/ Automatisierungstechnik Bachelor, B.S.c. abgeschlossen
2012 – 2017: HTL Bulme Graz Gösting, Wirtschaftsingenieurwesen mit Maschinenbau

FRÄSEN UND LASER-BEARBEITUNG VON HOLZKLETTERGRIFFEN AUF EINER FÜNFACHSIGEN LOW-BUDGET CNC-MASCHINE

BSc David Gruber

Kurzfassung: *Aus eigener Initiative hat sich der Autor zum Ziel gesetzt, Klettergriffe aus dem nachhaltigen Material Holz kostengünstig herzustellen, deren Griffigkeit (Fuss et.al. 2020) jener von Kunststoff-Griffen nicht nachsteht. Dazu werden mittels Laser Muster normal zu den Holz-Freiformflächen eingraviert. Sowohl für das Fräsen der Griffe, als auch für die Laserbearbeitung wird eine fünfachsige CNC-Maschine eingesetzt, wobei der Laser am Spindelgehäuse der Fräsmaschine befestigt und eine Absaugeinrichtung für Frässpäne integriert wird. Die Steuerung der Fräsmaschine erfolgt mittels G-Code, welcher von einem CAM-Programm auf Basis eines CAD-Modells erzeugt wird. Zusätzlich wird darüber der Laser ein- und ausgeschaltet und dessen Leistung mittels einer PWM-Ansteuerung eingestellt. In Versuchen wurde gezeigt, dass die Griffigkeit von Holzoberflächen durch Laser-Gravur signifikant erhöht wird.*

Abb. 1: Holz-Klettergriff mit Laser-Gravur.

Schlüsselwörter: *Klettergriff, Nachhaltigkeit, Laser, fünfachsige CNC-Maschine, CAD-CAM*

1. EINLEITUNG

Die meisten modernen Klettergriffe bestehen aus Kunstharz vermischt mit Sand. Ein Problem stellt dabei das Recycling der ausgemusterten Griffe dar. Gerade für Kletterbegeisterte ist Nachhaltigkeit aber ein wichtiger Aspekt. Deshalb bietet sich Holz als eine umweltfreundlichere Alternative für Kunststoff-basierte Griffe an.

Unbehandelt besitzt Holz die geringste Rutschfestigkeit der meisten modernen Griffmaterialien. Dies hat den Vorteil, dass die Kletternden mehr gefordert sind und die Griffe hautschonender sind. Jedoch entscheidet die Oberflächenbeschaffenheit der Griffe auch über die Kletterbarkeit einer Route und somit indirekt über die Beliebtheit der Griffe. Zudem sind Holzklettergriffe heute zumeist noch recht teuer.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Klettergriffe stellen aufgrund ihrer Formenvielfalt mit konvexen Rundungen, Hinterschnitten und fünf Bearbeitungsrichtungen viele Herausforderungen an die CNC-Technik. Die für die Zerspanung und Laser-Gravur erforderlichen Werkzeuge und Maschinenparameter sind auf das inhomogene, gemaserte Naturprodukt Holz stets experimentell abzustimmen.

In der Bachelorarbeit wurde die gesamte Prozesskette – vom CAD-Modell bis zum Test der Griffigkeit von Holz-Klettergriffen – konzipiert und realisiert. Dazu wurde eine kostengünstige CNC-Maschine so weiterentwickelt, dass sie sowohl sämtliche Fräsbearbeitungen als auch die Laser-Gravur durchführen kann.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die Klettergriffe werden aus Ahorn-, Buchen- oder Nussbaumholz-Rohlingen gefertigt. Die CNC-Maschine in vertikaler Kreuztisch-Bauweise mit sensorlosen Schrittmotoren kann mittels Low-Cost-Steuerung ‚Mach3' 3-achsig oder 5-achsig betrieben werden. Die CAD-Modellierung der Griffe erfolgt mittels Fusion360. Ein geeigneter Post-Prozessor konnte ebenfalls gefunden werden, wobei sämtliche Achsen und Nullpunkte jedoch neu definiert werden mussten (Weck 2001). Der entstandene G-Code wird noch ein weiteres Mal nachbearbeitet, wobei Chat-GPT ein C++-Rahmenprogramm lieferte. Der 5W Laser mit 450nm Wellenlänge und die eigens konzipierte Absaugung werden mittels gedruckter Bauteile an der Frässpindel angebaut. Die Absaugung dient vor allem dazu, feine Frässpäne und partikelbelastete, gesundheitsschädliche Luft abzusaugen, welche bei der Laser- und Fräsbearbeitung entstehen können (Kollbach et.al. 2023, Palmqvist et.al. 1999).

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Für die 3-achsige und 5-achsige CNC-Bearbeitung wurde je eine Aufspannvorrichtung konstruiert und eine passende Ausrichtungsmethode an den Maschinenachsen umgesetzt.

Während die Bahngenerierung für das Fräsen auf der Griff-Geometrie aufsetzt, werden die Laserbahnen als ebenes Muster modelliert und auf die Flächen projiziert. Dabei kommt wahlweise ein Kreuzmuster oder ein Wellenmuster zum Einsatz.

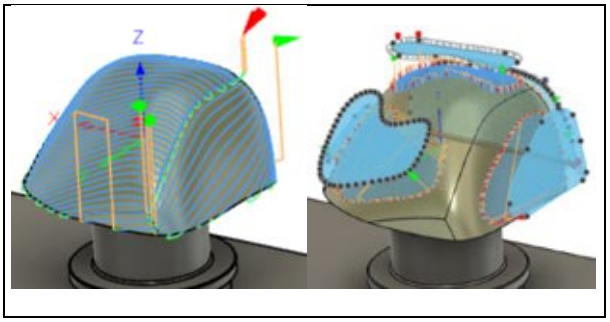


Abb. 2: CAM-Bahngenerierung Fräsen und Lasern

Die Ansteuerung des Lasers erfolgt mittels Atmega-Prozessor. Dieser erhält von der Steuerung der Fräse ein binäres Freigabesignal und ist durch einen Optokoppler galvanisch von dieser getrennt. Als Ausgangssignal stellt der Prozessor dem Laser ein PWM-Signal zur Verfügung. Durch Änderung des Puls-

Pausen-Verhältnisses des PWM-Signals wird die Leistung geändert.

Alle fertigungs- und versuchstechnischen Schritte erfolgten mit eigenen Mitteln und in eigenen Räumlichkeiten. Auf Belüftung und Lasersicherheit wurde besonders geachtet.

5. ERGEBNISSE

Einen Blick in die Maschinen mit Dreh-Schwenktisch für 5-Achsbearbeitung zeigt Abb. 3. Einzelne Stadien der Fertigung von Klettergriffen verdeutlicht Abb. 4.

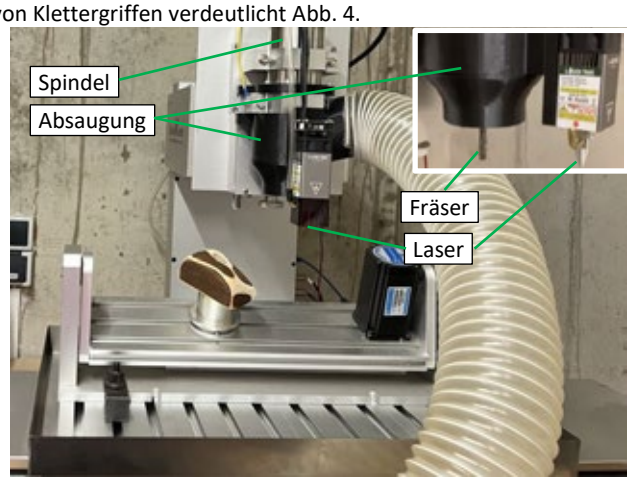


Abb. 3: Gesamtansicht des Arbeitsraums der CNC-Maschine

Abb. 4: Stadien: o.l.: 3-achsig, o.r.: Beginn 5-achsig. u.l.: Ende 5-achsig, u.r.: Ende Laser-Gravur mit Wellenmuster.

Ein abschließender Test der Griffigkeit erfolgte durch Kletterer unterschiedlichen Niveaus, indem jener Winkel einer Laser-gravierten Holzplatte bestimmt wurde, bei dem die Finger abglitten. Der Zugewinn an übertragbarer Reibkraft gegenüber der unbehandelten Platte lag bei 25% bis 30%.

Abb. 5: Versuchsaufbau: Test der Griffigkeit

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Klettergriffe aus Holz stellen eine nachhaltige Alternative zu Kunststoffgriffen dar. Ästhetisch ansprechend stellen sie dem Kletterer ausreichend Griffigkeit und Formenvielfalt bereit. Ein kostengünstiges Herstellungsverfahren für kleine Stückzahlen konnte entwickelt und erfolgreich angewendet werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

F. K. Fuss, Y. Weizman, G. Niegl, and A. M. Tan, “Climbers’ perception of hold surface properties: Roughness versus slip resistance,”, Mar. 2020 [Online]. Available: https://www.-frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.00252/full

M. Weck, Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme: Automatisierung von Maschinen und Anlagen, 5th ed., ser. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg and s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 2001.

C. Kollbach, H. Wilhelm, and C. Hartl, Von der Laserbeschriftung bis zum Lasermaterialabtrag: Wie Sie sich mit den Grundlagen vertraut machen und Fehlinvestitionen vermeiden, [1. Auflage] ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2023.

J. Palmqvist and S.-I. Gustafsson, “Emission of dust in planing and milling of wood,” Springer-Verlag, 1999.

AUTOR

David Gruber

Management Center Innsbruck, Maximilianstraße 2, 6020 Innsbruck, +43 66475050410, d.gruber@mci4me.at

09.2021-09.2023: Management Center Innsbruck, Bachelorstudiengang Mechatronik Maschinenbau
05.2021-12.2021: 3CON Anlagenbau GmbH, Konstrukteur im Sondermaschinenbau
08.2020-04.2021: Österreichisches Rotes Kreuz Bezirksstelle Kufstein, Zivildienst – Rettungssanitäter
09.2015-06.2020: HTL-Jenbach, Schwerpunkt Mechatronik-Automatisierungstechnik

MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK: OPTIMAL DESIGN OF AN INTERLEAVED BOOST CONVERTER

Haselwanter, P.

Abstract: *The demand for high power density and efficiency in power converters has been spurred by the rapid market growth of electric vehicles (EVs) and the urgent need for sustainability. Semiconductors based on wide bandgap materials like gallium nitride (GaN) have gained attention in recent years for their significant influence on performance and efficiency of power converters. Regarding converter topologies, the multi-phase interleaving technique has gained traction, especially in high-power applications, as it effectively reduces the device stress of semiconductors and inductors. Designing power converters is a demanding task involving multiple degrees of freedom and achieving high efficiency and high power density at the same time is typically not feasible. Hence, within this work, a multi-objective optimization procedure using a genetic algorithm is developed that facilitates a direct converter design process. The procedure is then used for optimizing a 12 V to 48 V two-phase synchronous interleaved boost converter (IBC). Experimental measurements conducted on the developed prototype revealed a power density of 2.1 kW dm^{-3}.*

Keywords: *DC-DC converter, interleaved boost, gallium nitride, multi-objective optimization, genetic algorithm*

1. INTRODUCTION

In an era defined by increasing energy demands coupled with the quest for renewable energy systems, the field of power electronics has emerged as a key driver in achieving higher energy efficiency. Semiconductors play a fundamental role in the operation of power electronics systems, significantly influencing their performance and overall efficiency. GaN has gained recognition as a disruptive semiconductor material, featuring higher breakdown voltages with lower on-resistances and faster switching times than comparable silicon solutions (Erickson and Maksimović 2020). Besides notable improvements in power conversion efficiency, the utilization of GaN-based power devices allows for higher operating frequencies, leading to reduced converter size and cost (Scrimizzi et al. 2023). The conventional boost converter offers a basic topology notable for its low number of required elements. However, this topology is not without its drawbacks, including limited power density, along with notable switching losses at higher frequencies due to hard switching and diode reverse recovery, resulting in low efficiency (Forouzesh et al. 2017). To overcome limitations of this topology and meet the demand for higher power densities and efficiencies, enhanced topologies using various voltage-boosting techniques are introduced. In recent years, the multi-phase interleaving technique has gained popularity in power converters. This topology features a parallel arrangement of phases, which reduces the current rating required for the used inductors and semiconductor devices. This ultimately reduces the device stress, providing benefits in terms of utilizing smaller components. In the interleaving control scheme, the gate signals of the switches are phase shifted by $2\pi/N$, where N represents the number of interleaved phases. This leads to an increased effective ripple frequency and a reduction in ripple magnitude at both the input and output sides of the converter (Forouzesh et al. 2017).

2. PROBLEM AND TASK DEFINITION

Achieving both high efficiency and high power density in the development of a power converter poses a significant hurdle, as these two objectives can be seen as conflicting and cannot be simultaneously fulfilled (Biela and Kolar 2010). Furthermore, the design process involves multiple degrees of freedom, making it challenging to select component values that lead to the desired solution. The primary objective of this work is to explore the potential of advanced semiconductor materials, particularly GaN, and optimization methodologies in the development of an IBC, based on requirements and constraints presented in Table 1. Switching frequencies up to 500 kHz are considered in the design process to benefit from the fast-switching speed of GaN field-effect transistors (FETs).

Parameter	Symbol	Value
Switching frequency	f_{sw}	100 kHz to 500 kHz
Output power	P_{out}	1 kW
Input voltage	V_{in}	12 V
Output voltage	V_{out}	48 V
Output voltage ripple (peak-to-peak)	Δv_{out}	0.5 V
Inductor current ripple (peak-to-peak)	Δi_{L}	0.2 I_{L}

Tab. 1: Specifications for the multi-phase synchronous boost converter design

3. MATERIALS AND METHODS

Prior to converter optimization, steady-state converter analysis is conducted, leading to mathematical expressions for various converter quantities. These findings are used to determine required component values, ensuring compliance with specifications outlined in Table 1. A circuit diagram of the chosen topology is presented in Figure 1.

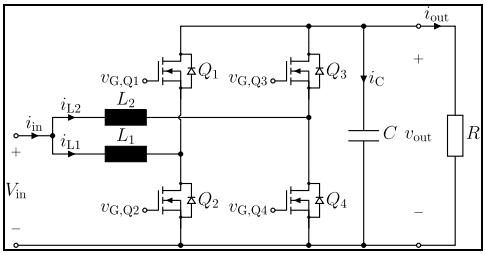


Fig. 1: Two-phase synchronous IBC topology with a resistive load connected to the output

As part of the converter analysis, expressions for losses in components are derived that form the basis for component selection during optimization. Furthermore, a steady-state thermal model is set up, considering natural convection and radiation cooling. This model assists in the estimation of junction temperatures for semiconductors. The second step towards converter optimization involves the setup of suitable databases for off-the-shelf components. In doing so, electrical and mechanical characteristics of GaN FETs, inductors and

capacitors are extracted from datasheets and filled into spreadsheets, that will serve as a data source for the algorithm. The optimization problem is tackled in MATLAB using `gamultiobj`, which is a genetic algorithm solver included in the Global Optimization Toolbox. The problem is a minimization problem of multi-objective type, as it aims to minimize both the power loss and the volume of the converter. As it is not feasible to minimize both objectives simultaneously, a set of trade-off solutions, known as the Pareto front, is investigated. Figure 2 shows the best-known Pareto front in the $\rho - \eta$ plane, where ρ represents power density and η corresponds to efficiency. The minimum number of phases to realize the converter calculates to $N_{\min} = 8$, which is divided into modules of two-phase interleaved boost converters.

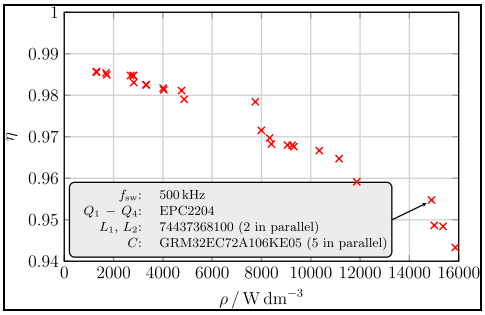


Fig. 2: Best-known Pareto front visualized in the $\rho - \eta$ plane with Pareto-optimal solutions given for a high-density design.

4. PRACTICAL REALIZATION

The high-density solution obtained from optimization forms the basis for prototype design. Component spacing and placement of auxiliary parts, such as bulk capacitors and connectors, cause the power density of the final design to be lower than indicated in Figure 2. Presented in Figure 3 is the designed prototype, which consists of two stacked IBC modules with a theoretical power density of 4.2 kW dm^{-3}.

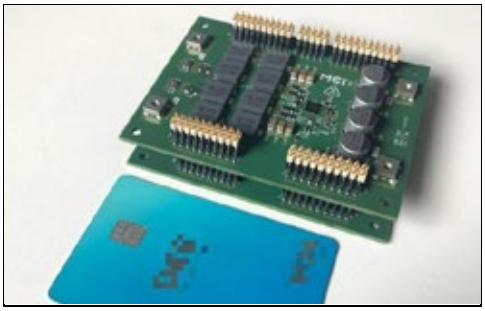


Fig. 3: Prototype of two stacked IBC modules and a banking card as size reference

5. RESULTS

Experimental measurements conducted on a single IBC module show deviations from the anticipated results. When operating the IBC module at half load, semiconductor temperatures reached approximately 120 °C as seen in Figure 4, which already marks the specified design limit. Consequently, a single prototype module is capable to deliver up to 125 W of output power, achieving a power density of 2.1 kW dm^{-3}. One contributing factor to the discrepancy between theoretical projections and experimental findings is the significant underestimation of switching transitions (turn-on and turn-off time) in the mathematical model. This directly leads to increased power loss in the low-side switch.

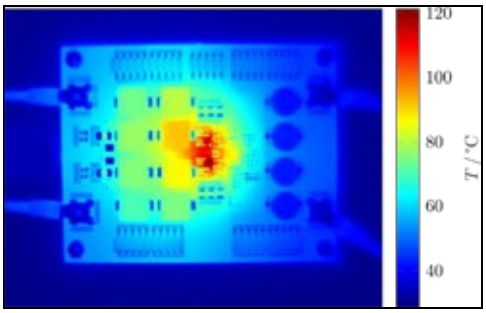


Fig. 4: Measured temperature distribution on the IBC module in half-load operation cooled by natural convection and radiation

6. SUMMARY AND OUTLOOK

This work introduces a method for optimizing an IBC by utilizing a genetic algorithm-based multi-objective optimization procedure. The resulting Pareto front offers a set of optimal solutions, giving designers the flexibility to choose based on higher-level information. A 12 V to 48 V two-phase synchronous IBC prototype is developed based on the proposed optimization procedure, achieving a power density of 2.1 kW dm^{-3}. A major goal for future work is to gain a comprehensive understanding of loss contributors in the converter and subsequently refine the mathematical models.

7. BIBLIOGRAPHY

R. W. Erickson and D. Maksimović, Fundamentals of Power Electronics, 3rd ed. Springer International Publishing, 2020.

F. Scrimizzi, F. Cammarata, G. D'Agata, G. Nicolosi, S. Musumeci, and S. A. Rizzo, "The GaN Breakthrough for Sustainable and Cost-Effective Mobility Electrification and Digitalization," Electronics, vol. 12, no. 1436, 2023.

M. Forouzesh, Y. P. Siwakoti, S. A. Gorji, F. Blaabjerg, and B. Lehman, "Step-Up DC–DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage-Boosting Techniques, Topologies, and Applications," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 12, pp. 9143–9178, 2017.

J. Biela and J. W. Kolar, "Pareto-Optimal Design and Performance Mapping of Telecom Rectifier Concepts," in Proc. of the Power Conversion and Intelligent Motion Conference, Shanghai, China, 2010, pp. 1–13.

AUTHOR

Patrick Haselwanter

MCI Management Center Innsbruck, Maximilianstraße 2, 6020 Innsbruck, patrick.haselwanter@mci.edu

Having completed his Bachelor's degree in Mechatronics with a specialization in Electrical Engineering at the Management Center Innsbruck in 2023, Patrick is now pursuing his Master's degree and concurrently working part-time as a project assistant in the Electronics and Power Laboratory.

FH KÄRNTEN: PROFET+2 UND AURIX ZUR MOTORDREHZAHL- UND POSITIONSBESTIMMUNG

Kirschner, D.

Kurzfassung: *Diese Arbeit beschreibt die Funktion einer Drehzahl- und Positionsbestimmung eines Verbrennungsmotors und geht genauer auf die Signalverarbeitung der Sensoren und der Versorgung der Aktoren ein. Des Weiteren wird genauer auf das Kurbelwellensignal eingegangen, das mit einem Analog-Digital-Konverter eingelesen wird, um das Signal mit einer Fast-Fourier-Transformation im Frequenzbereich darzustellen.*

Schlüsselwörter: *ProFET+2, AURIX, Input-/Output-Capture, A/D-Konverter, FFT*

1. EINLEITUNG

Im Automobilereich müssen für eine effiziente Motorsteuerung Informationen über Motordrehzahl und Motorwinkellage ausgewertet werden, wie etwa die Berechnung von Einspritz- und Zündzeitpunkt. Dazu werden komplexe Rechen- und Signalverarbeitungsprozesse eingesetzt. Im Rahmen dieses Projekts soll demonstriert werden, wie mit dem Signal der Kurbel- und Nockenwelle die Position und Drehzahl des Verbrennungsmotors ermitteln werden kann. Dazu werden die erlernten Fähigkeiten über Microkontroller, Signalverarbeitung und Elektronik umgesetzt.
Um verschiedene Kurbelwellensensoren einlesen zu können, wird das Signal mit einem A/D-Konverter eingelesen, um die Frequenz zu extrahieren. Mit der Information der Kurbelwelle werden die Zeitpunkte der Ausgänge berechnet und mit einem Output Capture ausgelöst.
Die Aktoren werden über den ProFET+2 versorgt, der über mehrere Funktionen verfügt. Eine Funktion ist die Strommessfunktion (kILIS), die an dem IS-Pin einen Teil des Stromes ausgibt, welcher über den Leistungstransistor fließt. Mit einem Widerstand wird der Strom als Spannung umgesetzt. Folglich kann der Wert über den A/D-Konverter eingelesen werden. Wenn der Strom einen Schwellwert überschreitet, werden die Aktoren ausgeschalten.

2. AUFGABENSTELLUNG

Die Auswahl der Sensoren wurde auf einem Hallgeber und einem Induktivsensor beschränkt. Der Hallgeber gibt ein Rechtecksignal aus mit zwei Spannungspegel (5V und 0V) der Induktivsensor hingegen einen Sinus und die Amplitude hängt von der Geschwindigkeit der Kurbelwelle ab. Bei jeder Umdrehung des Motors werden 36 Pulse erzeugt. Der Nockenwellensensor gibt eine Steigende Flanke aus, sobald sich der Motor in der Referenz befindet.
Um die Aktoren zu Steuern, welche die Treibstoffmenge einspritzen und die Zündung aktivieren, wurde ein Leistungstransistor als High- und Lowside-Schalter gewählt. Mit der Konfiguration der Schalter kann sowohl ein Kurzschluss erkannt werden als auch mit dem Lowside-Transistor eine hohe Schaltfrequenz erreicht werden.

3. THEORETISCHE DURCHFÜHRUNG

Um die Signale darstellen und simulieren zu können wurde die Software MATLAB verwendet, da diese einige Signalverarbeitungsfunktionen bietet wie zum Beispiel die Möglichkeiten ein Signal zu ändern, zu filtern und zu transformieren.

- Durch Abtastung eines analogen Signals entsteht ein zeitdiskretes Signal. Um aus einem zeitdiskreten Signal wieder das ursprüngliche Signal herstellen zu können, müssen bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Betrachtet man das Spektrum eines abgetasteten sinusförmiges Signals, so beträgt die Periode $2\pi/T$. Je größer die Abtastfrequenz $f_A=1/T$ ist, desto weiter liegen die Spektren auseinander. Eine Rekonstruktion des kontinuierlichen Signals kann nur erfolgen, wenn die Grundperiode des Spektrums des abgetasteten Signals sich nicht überlappt.
  Daraus lässt sich schließen, dass die Abtastfrequenz mehr als doppelt so groß sein muss, wie das zu abtastende Signal (Meyer, 2017)

$$f_A > 2B$$

- Der Aliasing Effekt kann aus mehreren Gründen auftreten. Ein Grund ist das Nichteinhalten des Abtasttheorems, wodurch sich ein Überlappen der Teilspektren ergibt. Höhere Frequenzen können durch Rauschen entstehen, was dann zu einer Unterabtastung führt. Dies liegt daran, dass Signale mit Frequenzen oberhalb der Abtastfrequenz im Spektrum als niedrige Frequenzen dargestellt werden. Somit kann das abgetastete Signal nicht mehr eindeutig wiederhergestellt werden (Schüßler, 2008). Um den Aliasing-Effekt zu verhindern, kann ein AAF (Anti-Aliasing-Filter) implementiert werden, um höherfrequente Anteile von einem Signal zu unterdrücken, bevor es abgetastet wird (Meyer, 2017) (Schüßler, 2008). Eine einfache Möglichkeit, einen AAF zu realisieren, ist ein Tiefpass-Filter (TPF). Der einfachste TPF besteht aus einem RC-Glied, was vor einem ADC-Eingang verbaut wird. In der Praxis wird so ein RC-Glied anhand der maximalen Abtastfrequenz des ADC ausgelegt, um die Bedingung $f_A > 2B$ nicht zu überschreiten.
- Mit MATLAB wurde ein Rechtecksignal mit 10Hz erstellt. Mit dem Signal konnte eine Transformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich gemacht werden. In der Abb. 1 erkennt man, dass die höchste Amplitude bei der Frequenz mit 10Hz ist. Des Weiteren erkennt man in der Abb. 1, dass es kein Aliasing gibt, da sich die Spektren nicht Überlappen und das Abtasttheorem, mit $f_A>2B$, nicht unterschritten wurde.

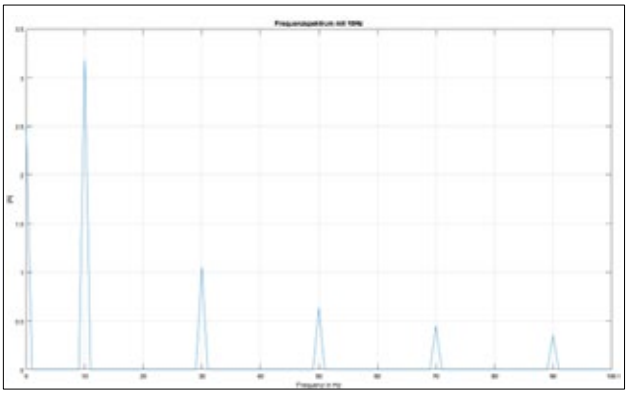


Abb. 1: Frequenzspektrum mit 10Hz pro Zahn

4. PRAKTISCHE UMSETZUNG

Um die Referenz des Motors zu ermitteln, wurde ein *Input Capture* erstellt, um den Punkt erfassen zu können, wann der erste Kolben den Oberen Totpunkt (OT) erreicht hat. Anhand dieser Information wurde ein *Interrupt* ausgelöst, um das Ausgangssignal zu Schalten. Die Herausforderung dabei war es, die Signale zu synchronisieren.
Der ADC-Pin, für die VADC-Funktion, liegt laut Datenblatt und Leiterplattenbeschriftung an den Pins *AD0* bis *AD11*. Es wurde eine Software entworfen, um ein analoges Signal digitalisieren zu können, wie z.B. der Strommess-Pin des ProFET+2. Um die ADC-Pins zuordnen zu können, muss als nächstes die *VADC-Gruppe*, die Kanalidentität (ID) und der Register angegeben werden. Hierzu wurden die Header-Dateien durchsucht, um die Informationen über Gruppe, Identität und Register zu bekommen.
Dabei wurde ersichtlich, dass die Pins *AD0* bis *AD11* keine Eingangspins sind, sondern sogenannte *VADC-OUT* Pins. In der Header-Datei wurde nach den Eingangspins gesucht und mit dem Schaltplan des Herstellers verglichen. Somit wurde ein ADC-Pin gefunden der Gruppe *IfxVadc_GroupId_6*, die *Kanal-ID* „4“ und das Register „5“ hat. Nach Überprüfung des Datenblatt des AURIX TC27x D-Step stellte sich heraus, dass der *P00.8* als ADC-Eingang geeignet ist für das Einlesen eines analogen Signals.

5. ERGEBNISSE

Das Ausgangssignal des Einspritzventils und der Zündung werden nach den vorgegebenen Zeiten eingeschalten und nach jeweils einer Zeit von 10ms wieder ausgeschalten. Die steigende Flanke der Nockenwelle ist somit der Startpunk für die Verzögerungszeit und zugleich der OT des ersten Zylinders. Die Signale sind somit synchron zur Motordrehzahl.
Um den A/D-Konverter testen zu können, wurde der Pin einmal auf 5V gelegt und einmal auf Masse und mit der Debug-Funktion des Programms an der Stelle angehalten, um den Wert der Variable zu bekommen. Die Werte der Variable stimmte somit mit den Spannungen am Eingang überein. Es wurde dann der Strom gemessen, indem der Pin über ein Strommeter mit 5V und 0V verbunden wurde. Dabei viel auf, dass bei 5V ein Strom von 10mA floss und dass der Berechnete AAF sowie die Sensoren dafür nicht geeignet waren.
Somit wurde das Kurbelwellensignal nur anhand der Simulationen mit MATLAB gemacht, um die Verzögerungszeit zu berechnen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICKE

Diese Arbeit gibt einen Überblick wie man mit den Informationen von der Kurbel- und Nockenwelle die Drehzahl und Position der Kolben berechnen kann. Dabei wurde der Ansatz über eine FFT verfolgt, um die Frequenz daraus zu gewinnen.
Um das Signal der Kurbelwelle einlesen zu können, müsste eine andere A/D Funktion oder Modul verwendet werden, welches einen geringeren Eingangsstrom hat oder Hochohmiger ist.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Meyer, M., 2017. *Signalverarbeitung Analoge und digitale Signale, Systeme und Filter*, Springer Vieweg, ISBN: 978-3-658-18321-9, Deutschland

Schüßler, H. W., 2008, *Digitale Signalverarbeitung 1 Analyse diskreter Signale und Systeme,* Springer, ISBN: 978-3-540-78250-6, Deutschland

AUTOR

David Kirschner

Carinthia University of Applied Siences (CUAS) – Campus Villach, edukirdav001@fh-kaernten.at

Aktuell als Designer bei der Firma Infineon AG tätig.

FH WR. NEUSTADT: AUTOMATISCHE VERMESSUNG VON STÄMMEN GEFÄLLTER BÄUME DURCH KI UND COMPUTER VISION

Marlovits K.

Kurzfassung: *Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz wird die Vermessung und damit die Bestandsaufnahme von Stämmen gefällter Bäume bereits während der Forstarbeiten möglich. Dabei werden die durchforsteten Bereiche mit Kameras erfasst, welche die zu vermessenden Objekte mit Hilfe von KI-basierten Bildverarbeitungsalgorithmen automatisch erkennen. Die Vermessung erfolgt mit einem Stereo Vision System, welches am Unterarm des Forstarbeiters getragen wird. Die zum Training der KI erforderliche Bilddatenbank wurde während des Projektes selbst erstellt, wobei es die Methode des Transferlernens ermöglicht publizierte Bilderkennungsnetze mit Hilfe von weniger als 1000 Bildern für die Aufgabenstellung erfolgreich zu trainieren.*

Schlüsselwörter: *Digitalisierung, Forstarbeiten, Künstliche Intelligenz, Computer Vision*

1. EINLEITUNG

Holz ist als klimafreundlicher Rohstoff für die Bauindustrie, für die Verpackungsindustrie oder zur Wärmegewinnung, essenziell und daher nicht aus unserem Alltag wegzudenken. Wälder zur Gewinnung dieses nachwachsenden Rohstoffs, weisen jedoch standortspezifische Landschaftsstrukturen und Arbeitsbedingungen auf. Dieses heterogene Arbeitsumfeld erschwert die Digitalisierung und Automatisierung manueller Arbeitsschritte bei der Holzernte. Um die Ernte wirtschaftlich zu halten, werden moderne Holzerntemaschinen (Harvester) eingesetzt, deren Effizienz deutlich höher ist als bei der manuellen Fällung. Die Nachhaltigkeit des Maschineneinsatzes ist allerdings umstritten, da Harvester zu einer Verdichtung des Bodens führen und dadurch das Pflanzenwachstum eingeschränkt werden kann. Um Forstarbeit weiterhin wirtschaftlich, nachhaltig und übersichtlich zu gestalten, arbeiten innovative Unternehmen an Lösungen den Fällungsprozess zu digitalisieren um damit unter anderem auch potenzielle Verdichtungen des Waldbodens so gering wie möglich zu halten. Diese Arbeit stellt einen effektiven Lösungsansatz zur Digitalisierung der gegenwärtig manuellen Holzernte, unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, der Nachhaltigkeit und der verfügbaren Zeit, dar.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Der Prozess der manuellen Holzernte setzt sich aus den Teilschritten Fällung des Baumes, Entasten des Stammes und Vermessung der Länge und des Durchmessers zusammen. Die Fällung und Entastung werden mit der Motorsäge durchgeführt. Das Vermessen erfolgt mit konventionellen Messmethoden (Maßband und Messkluppe). Anschließend wird das Volumen des Stammes berechnet. Eine Digitalisierung der Vermessung kann den Prozess der Holzernte deutlich beschleunigen. Daher wird in dieser Arbeit ein auf künstlicher Intelligenz basierender Algorithmus entwickelt, der Stämme vermisst, das Volumen berechnet, und die Ergebnisse in einer Datenbank dokumentiert.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Für diese Forschungsarbeit wird Matlab mit der Computer Vision und der Deep Learning Toolbox als Softwareplattform verwendet. Aufgrund der relativ geringen Datenbasis wird der Prozess des „Transferlernens“ gewählt. Dabei werden bekannte, bereits gut trainierte und etablierte Deep Learning Netzwerke der Bilderkennung so modifiziert, dass sie für neue Klassifizierungs- oder Segmentierungsaufgaben eingesetzt werden können. Der große Vorteil beim Transferlernen besteht darin, dass zum Trainieren der neuen Aufgabe nur ein kleiner Teil der Netzwerkstrukturen verändert wird. Dadurch kann auch der Großteil der bereits trainierten Netzwerkschichten mit den jeweiligen Parametern weiterverwendet werden, so dass zum Training nicht mehr Millionen, sondern typischerweise nur mehr wenige hundert Datensätze verwendet werden müssen (Drori 2022). Diese Trainingsdaten werden von einem Smartphone, oder auch einem Stereo Vision System bereitgestellt, wobei besonders auf unterschiedliche Bedingungen im Wald (Licht, Witterung, Vegetation) geachtet wird. Als Basisnetzwerk werden die bekannten, zuverlässigen und effizienten Bilderkennungsnetzwerke AlexNet und ResNet18 eingesetzt, die sowohl zur Klassifikation von Baumstämmen als auch zur Segmentierung der Bilder eingesetzt werden.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Wichtig für die Akzeptanz eines digitalen Systems ist eine einfache Integration in bestehende Prozesse und Abläufe. Dabei ist vor allem ein ergonomisches Arbeiten wesentlich, weshalb für das Sensorsystem eine Position am Körper des Waldarbeiters ausgewählt wird, die eine Erfassung der Umgebung erlaubt, ohne die Fällungsarbeiten zu beeinträchtigen.

Abb. 1: Am Unterarm angebrachtes Stereo Vision System, welches ein sehr ergonomisches Arbeiten ermöglicht.

Eine Positionierung am Unterarm ist optimal, sodass ein speziell für diese Position passendes Gehäuse für das Stereo Vision System konstruiert und mittels 3D-Drucker gedruckt wurde.

Dieser in Abb. 1 gezeigte Prototyp kann über zwei Klettverschlüsse am Unterarm fixiert werden. Zum Generieren von Trainingsaufnahmen werden sowohl mit dem Stereo Vision System, also auch mit unterschiedlichen Smartphones Aufnahmen von Baumstämmen erstellt. Nachdem die Aufnahmen für ein überwachtes Lernen genutzt werden, ist eine händische Segmentation und Klassifikation erforderlich. Dabei wird die Technik der künstlichen Datenanreicherung genutzt, um das Training robust zu gestalten und den Datensatz zu vervielfachen (Goodfellow et al. 2016). Schon die ersten Ergebnisse der beiden Aufgabenstellungen sind vielversprechend, wobei die Leistungsfähigkeit des Segmentierungsnetzwerks jene der Klassifikations-KI deutlich übersteigt, vor allem auch deshalb, weil erst durch die Segmentation eine Vermessung des Baumstammes möglich wird. Alle weiteren Trainingsdaten und Optimierungsprozesse werden nur mehr für die Segmentation aufbereitet. Der nach dem Training optimierte KI-Algorithmus ist in der Lage gefällte Baumstämme eindeutig von der restlichen Umgebung zu separieren. Die Segmentierung liefert eine klare Abgrenzung des Stammes zur Umgebung und dient als hervorragende Basis für die weiteren Prozessschritte insbesondere der nachfolgenden Vermessung des Baumstammes. Während die KI-basierte Erkennung mit einem normalen Farbbild arbeitet, wird für die Vermessung das Stereo Vision System genutzt. Über die Disparität wird eine 3D-Punktwolke des Stammes berechnet die jedem Bildpunkt eine räumliche Koordinate zuweist. Auf Basis dieser Koordinaten kann mit Hilfe von statistischen Methoden das Volumen des Stammes ermittelt werden. Durch die hohe Anzahl an 3D-Punkten ist diese Berechnung sehr robust und einzelne Fehler in der Segmentierung werden automatisch kompensiert. Abb. 2 zeigt typische Ergebnisse der Vermessung eines Stammes.

Abb. 2: Durch den Algorithmus berechnete Baumstammmaße.

5. ERGEBNISSE

Die mit 504 Aufnahmen trainierten KI-Netzwerke ResNet18 und AlexNet sind beide in der Lage gefällte Baumstämme von der Umgebung zu differenzieren. ResNet18 ist das moderne und leistungsfähigere Netzwerk, das Informationen auch über mehrere Schichten austauscht. Es erzielt, wie in Abb. 3 dargestellt, genauere Ergebnisse mit geringerem Segmentierungsrauschen, benötigt zur Auswertung im Vergleich zu AlexNet aber die dreifache Zeit. Die Ermittlung der Koordinaten zu Vermessung aus der Punktwolke erfolgt zuverlässig.

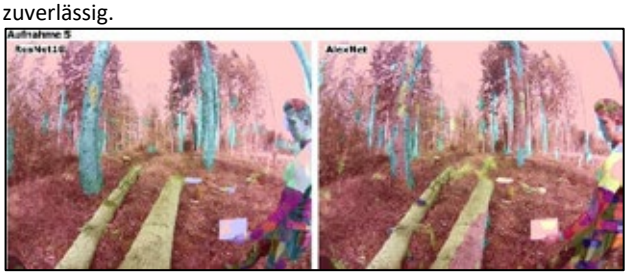


Abb. 3: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Segmentierung, von ResNet18 (links) und AlexNet (rechts). Liegende Baumstämme sind in Gelb, stehende Baumstämme in Hellblau, Schnittkanten in Dunkelblau und die restliche Umgebung ist in Rot hinterlegt.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Kombination von KI und Computer Vision zum Vermessen von gefällten Baumstämmen ist sehr leistungsfähig. Die trainierten Netzwerke liefern zuverlässige Ergebnisse und der entwickelte Algorithmus zur Auswahl der Vermessungspunkte hat sich als akkurat erwiesen. Für eine weitere Entwicklung kann das System in den Arbeitsprozess integriert, und durch die dabei gesammelten Werte optimiert werden. Das Ziel muss dabei nicht zwingend das Vermessen sein, da sich auch andere Anwendungen anbieten. Eine Erfassung des bestehenden Baumbestandes mit Höhe und Durchmesser vereinfacht die Logistik. Die Erkennung von Personen, und deren Entfernung garantiert die Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsabstandes und tragt wesentlich zur Arbeitssicherheit bei. Beide Aufgaben kann der entwickelte Prototyp erfüllen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Drori, I., 2022, The Science of Deep Learning, Cambridge University Press, 9781108891530

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., 2016, Deep Learning, MIT Press, 9780262035613

AUTOR

Konstantin Marlovits
Fachhochschule Wiener Neustadt
Johannes Gutenberg-Straße 3
2700 Wiener Neustadt
0678/1219569, 116288@fhwn.ac.at

Technische Ausbildung an der HTL Eisenstadt mit dem Schwerpunkt Werkstofftechnik. Während der schulischen Ausbildung bereits erste berufliche Tätigkeiten bei Special Effects by C.Sturtzel. Erweiterung des Wissens bei AAC als Techniker im Space-Bereich. Die berufliche Tätigkeit zeigte die Notwendigkeit einer weiteren Ausbildung. Ab 2020 Bachelorstudium Mechatronik an der FH Wiener Neustadt. Zeitgleiche Tätigkeit als Studienassistent im Bereich Industrial Management. Bachelorarbeit beim Start-Up WOOD.IN.VISION in Deutschland, Schwerpunkt Digitalisierung der Waldarbeit. Aktuell im Master Studium Mechatronik an der FH Wiener Neustadt.

FH CAMPUS WIEN: 3D-DRUCK VON BORCARBID

Mühlhofer, A.

Kurzfassung: *Diese Arbeit beschäftigt sich mit der additiven Fertigung von Borcarbid und Borcarbid-Verbundmaterial im Composite Extrusion Modeling Verfahren (CEM) mit anschließender Sinterbehandlung. Geeignete 3D-Druckparameter sowie Sinterparameter wurden experimentell erhoben. Es wurden Probezylinder unterschiedlicher Zusammensetzungen und innerer Struktur angefertigt und die physikalischen Eigenschaften der Proben analysiert und miteinander verglichen. Ziel war es, zur Materialoptimierung eine Struktur aus Borcarbid-Verbundmaterial von möglichst hoher Härte und hohem Elastizitätsmodul bei gleichzeitig größtmöglicher Gewichtsersparnis zu generieren. Dem zugrunde liegt die Idee, ein ballistisches Schutzmaterial für zivile Anwendungen mit größtmöglichem Tragekomfort zu schaffen. Für die Strukturgebung wurde ein bionischer Ansatz aufgegriffen. Die Materialeignung als ballistischer Schutz wurde charakterisiert, um Empfehlungen an den weiteren Entwicklungs- bzw. Fertigungsprozess zu ermöglichen.*

Schlüsselwörter: *Ballistischer Schutz, Borcarbid, Composite Extrusion Modeling, Sintern, Verbundmaterial.*

1. EINLEITUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem 3D-Druck von Borcarbid zu seiner Optimierung als ballistisches Schutzmaterial für zivile Anwendungen. Vulnerable Personengruppen in Krisenregionen sind an das tendenziell hohe Tragegewicht beschusshemmender Westen nicht gewöhnt. Dazu zählen z.B. Mitarbeiter von NGOs, Mitwirkende bei Evakuierungen, Rettungssanitäter, Reporter, und jene unmittelbar Betroffenen, die aus hostilen in sichere Gebiete transferiert werden. Gemäß dem Grundsatz, Leben zu retten, ist es unabdingbar, Technologien zu entwickeln, die dies unterstützen.

Als Hochleistungskeramik ist Borcarbid mit seiner hohen Härte und geringem Gewicht ein überlegener Werkstoff für ballistischen Schutz. Gleichzeitig erlauben 3D-Druckverfahren komplexe Formgebung bei größtmöglicher Materialersparnis. Die Firma RHP Technology GmbH, 2444 Seibersdorf, untersucht in einem laufenden Projekt die additive Fertigung von Borcarbid und Borcarbid-Composites.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zylindrische Probestücke in variierender Zusammensetzung und Aufbau – erstmalig im CEM-Verfahren – 3D-gedruckt und gesintert. Physikalische Eigenschaften der Proben wurden analysiert, und hinsichtlich endballistischen Widerstands beurteilt.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Ballistik umfasst als Teilgebiet der Physik die gesamte Erscheinung und Bewegung eines geworfenen Körpers. Die Verbreitung von Feuerwaffen im 19. Jhd. führte zur Entwicklung der Endballistik. Die endballistischen Vorgänge im Material sind aufgrund der extremen Belastungen im Mikrosekundenbereich vorrangig experimentell ermittelbar. Eine besondere Problematik stellt dabei die Prüfung von ballistischem Schutz dar, da die Durchschusswahrscheinlichkeit keiner Linearität unterliegt. Endballistisches Materialverhalten basiert auf Wechselwirkungen zwischen dem Prüfobjekt (z.B. beschusshemmende Weste) und dem Messmittel (Geschoss oder Splitter). Die Struktur des Zielmaterials und seine Ausdehnung spielen neben dem Auftreffwinkel des Geschosses eine zentrale Rolle. Dem Zerstörungspotential im Material bzw. dessen Durchdringung liegen vorrangig die Energiedichte des Geschosses und seine Querschnittsbelastung zugrunde. Der Schutz einer beschusshemmenden Weste ist nach 1 bis 3 Schuss erschöpft. Dabei bleibt durch die hohe Restenergie ein signifikantes Verletzungsrisiko bestehen (Kneubuehl 2018).

Die Möglichkeit, Verbundmaterialplatten mit innovativer Struktur herzustellen, eröffnet die Entwicklung neuartiger ballistischer Westen und somit bessere Zugänglichkeit für zivile Anwendungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde folgende Forschungsfrage formuliert: „Wie kann modernes 3D-Druckverfahren zur Optimierung der Materialeigenschaften von Borcarbid genutzt werden?“

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Verbundwerkstoffe bestehen aus mindestens zwei Materialsorten, die feste Phasen ausbilden. Dabei werden im entstandenen Composite neue Werkstoffeigenschaften ausgeprägt. Komponenten eines Verbundwerkstoffs können ihrerseits auch Verbundwerkstoffe sein. Als Komponenten werden Borcarbid (B_4C), metallisches Aluminium (Al) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) herangezogen.

Beim 3D-Druck von keramischen Werkstoffen ist das Aufgabegut üblicherweise Granulat, welches über einen Extruder auf Verarbeitungstemperatur gebracht wird, und dann selektiv auf die Plattform des 3D-Druckers aufgebracht wird. Dieses Verfahren wird „Composite Extrusion Modeling“ (CEM) genannt. Es wird eine Druckstrategie erstellt, um verschiedene Feedstock-Zusammensetzungen und Bindersysteme zu vergleichen. Nach dem 3D-Druck von Probezylindern aus Borcarbid, Composite und von Zweikomponentenzylindern werden diese entbindert und gesintert. Durch Sintern werden metallische oder keramische Pulver nach einer ersten Formgebung unter Wärmebehandlung unterhalb ihres Schmelzpunkts verdichtet und gehärtet.

Anschließend wird untersucht, welche Art von Verbundwerkstoff entstanden ist, und wie die neuen Werkstoffeigenschaften ausgeprägt sind. Dazu gehören Mikrostruktur, Dichte, Porosität, Härte und Zähigkeit.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Das Composite-Material wurde nach betriebsinternem Rezept hergestellt. Für den experimentellen 3D-Druck wurden geeignete Parameter durch systematische Annäherung gefunden. Zur Verwendung kamen zwei (modifizierte) AIM3D ExAM 255 3D Feedstock-Drucker mit zwei Extruderköpfen. Das Programm Ultima Cura 5.2.2 erlaubt die Modifikation der Druckparameter und die Ansteuerung des 3D-Druckers im Handbetrieb.

Der Schichtaufbau der Zweikomponentenzylinder wurde in Anlehnung an die Struktur von Insektenpanzern eigens erdacht. Der Nosoderma diabolicum ist gegenüber Kompression oder stumpfen Schlägen äußert resistent. Dieser Umstand lässt sich auf die speziell verzapfte Schichtstruktur seines Panzers zurückführen. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist das Verzapfen der Schichten im Zweikomponentendruck ein vielversprechender Ansatz. Die Idee ist, dass sich etwaige Risse zwischen den Materialschichten entlang fortpflanzen, um das Material nicht in der Tiefe zu schwächen. Verschiedene Strukturvarianten (als Vorstufen für mögliche Verzapfungen) wurden mit Fusion 360 konstruiert und 3D-Druckexperimenten unterzogen. Die als sinterfähig eingestuften Probezylinder werden in einem nächsten Präparationsschritt lösemittel- und thermisch entbindert, damit sie ihre vorgesehene Zusammensetzung erhalten und gesintert werden können.
Die induktive Heißpresse (IHP) ist eine experimentelle Verdichtungsanlage bei der Firma RHP. Geeignete Prozessparameter wurden von pulverkeramischen Borcarbid-Composite-Proben abgeleitet, die bereits firmenintern hergestellt und zur Verfügung gestellt wurden. Sintern der 3D-gedruckten Proben mit der IHP hat gezeigt, dass die angestrebte relative Dichte mit der höchstzulässigen Betriebstemperatur jedoch nicht zu erreichen ist. Durch Sintern mit der Labor-Sinter-Presse (LSP) unter höheren Temperaturen konnte die relative Dichte der angestrebten angenähert werden. Nach dem Sintern erfolgt eine umfassende Probenanalytik.
Die Bestimmung des Elastizitätsmoduls erfolgt indirekt mittels Ultraschallmessung mit dem Olympus 38DL Plus Ultraschall Schichtdickenmaß. Für die Keramografie wurden Probenanschliffe erstellt und die Gefüge auflichtmikroskopisch mit dem Keyence VHX-5000 Digitalmikroskop zugeordnet. Für die Eindruckhärteprüfung nach Vickers kommt das Qness Q10M Härteprüfgerät zum Einsatz. Die Auswertung dieser Kleinlasthärteprüfung (HV2) sowie die Rissbestimmung (Bruchzähigkeit nach Palmqvist) erfolgen über ein gekoppeltes Mikroskop.
Zur Bestimmung der Phasenzusammensetzung wird ein XRD-Phasenandiagramm mit dem Rigaku MiniFlex 600 Röntgen-beugungsanalysegerät erstellt. Die mikrostrukturelle und chemische Analyse der Borcabidcomposite-Proben wurde mittels Rasterelektronenmikroskop JEOL 6610 mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDS) OI X-mat durch ein Partnerlabor umgesetzt.

5. ERGEBNISSE

Die 3D-Druckfähigkeit der untersuchten Feedstocks ist stark von deren Zusammensetzung (Pulverarten, Binderanteile) und vom Design des Druckteils (Komplexität des Schichtaufbaus) abhängig. Als hinderlich haben sich lange Verweilzeiten im Extruder erwiesen.
Der qualitative Nachweis beteiligter chemischer Elemente durch REM beleuchtet Diffusionsvorgänge im Composite-Material sowie Einschlüsse nicht-reagierter Komponenten. Die Analyse weist zudem darauf hin, dass die Proben höhere Dichten aufweisen, als rechnerisch approximiert wurde.
Die Zusammensetzung der mittels XRD-Analyse nachgewiesenen Verbindungsbildungen haben Aussagekraft gegenüber dem Materialverhalten während des Sinterns. 3D-gedruckte Composites blieben hinsichtlich des Elastizitätsmoduls unter dem Erwartungswert. Ermittelte Härtewerte sind für ballistischen Schutz bereits hinreichend. Die Rissbestimmung hat ergeben, dass eine deutliche Tendenz erhöhter Rissfortplanzung entlang der entstandenen Schichten im Verbundmaterial erkennbar ist.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Borcarbidverbundmaterial zeigt hohes Potential für seine Eignung als ballistisches Schutzmaterial. Die erstellten 3D-Druckteile sind in ihren Eigenschaften jedoch noch nicht mit denen von pulverkeramischen Composites vergleichbar. Die Reproduzierbarkeit im 3D-Druck insbesondere für komplexere Strukturgebung bedarf Optimierung, um den bionischen Ansatz der Arbeit verstärkt aufgreifen zu können. Die Entstehung von Eutektika im Verbundmaterial ist durch entsprechende Zusammensetzung hintanzuhalten. Die aufgetretenen Diffusionsvorgänge in den Borcarbidverband begünstigen die Verdichtung, ohne die Härte signifikant herabzusetzen. Inwieweit Aluminiumbestandteile den Elastizitätsmodul des Composite-Materials herabsetzen, bedarf weiterer Untersuchungen. In zukünftigen Versuchsreihen werden die vielversprechendsten Composites größer dimensioniert, um sie ballistischen Prüfungen zu unterziehen. Dies übersteigt jedoch den Rahmen der präsentierten Arbeit.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Castelvecchi, D., 2020. This beetle's stab-proof exoskeleton makes it almost indestructible, *Available from:* https://www.nature.com/articles/d41586-020-02976-0 *Accessed:* 2023-06-22

Gonzalez-Gutierrez, J. et al., 2018. Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials*, Vol.114, Nr.3, 127-138

Kneubuehl, B., 2018. *Ballistik – Theorie und Praxis,* Springer, ISBN 978-3-662-58299-2, Berlin

Minatto, F. D. et al., 2015. Multilayered ceramic composites – a review. *Advances in Applied Ceramics*, Vol.11(5):840

Sergejev, F., Antonov, M. 2006. Comparative Study on indentation fracture toughness measurements of cemented carbides*. Estonian Academy of Sciences,* Vol.12, Nr.4, 388-398

Sighal S. K., Singh B. P., 2006. Sintering of boron carbide under high pressures and temperatures. *Indian Journal of Engineering and Material Sciences*, Vol.13, 129-13

AUTOR

Anna Mühlhofer

FH Campus Wien, Favoritenstr. 226, 1100 Wien
anna.muehlhofer@protonmail.com

Absolventin Bachelorstudiengang High Tech Manufacturing (2023)
Absolventin HBLVA Rosensteingasse mit mehrjähriger Berufserfahrung in der chem. Industrie

FH CAMPUS 02: PRAKTISCHE UNTERSUCHUNG VON KURZSCHLUSSTESTVERFAHREN AN BRENNSTOFFZELLEN-STACKS

Stocker, L.

Kurzfassung: *Wasserstoff gilt als vielversprechende Technologie für zukünftige Mobilitätsanwendungen. Die Arbeit untersucht die Erkennung von Kurzschlüssen im Fertigungsprozess von Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen-Stacks, welche Wasserstoff in Strom und Wärme umwandeln können. Kurzschlüsse können im Fertigungsprozess als Folge unterschiedlicher Fehler auftreten und müssen erkannt werden. In der Arbeit werden Ursachen für elektrische Kurzschlüsse beschrieben und zwei Erkennungsmethoden praktisch an Brennstoffzellen-Stacks getestet. Die Ergebnisse dieser Tests werden beschrieben sowie Erkenntnisse in Hinblick auf die Abhängigkeit der Zellspannung von Kurzschlusswiderständen, die Wiederholbarkeit, die Skalierbarkeit und die Erkennung als auch deren Grenzen abgeleitet.*
Schlüsselwörter: *Wasserstoff, Brennstoffzelle, Kurzschluss.*

1. EINLEITUNG

Brennstoffzellen können Wasserstoff mittels elektrochemischer Effekte in Strom und Wärme umwandeln. Besonders für mobile Anwendungen bieten diese im Vergleich zu Batterien Vorteile, da die Energiedichte von stofflichen Energieträgern wesentlich höher ist und dadurch größere Reichweiten möglich sind. Ein weiterer Vorteil ist die kurze Betankungszeit verglichen mit der Ladezeit einer Batterie und der höhere Wirkungsgrad sowie lokale Emissionsfreiheit verglichen mit Verbrennungskraftmaschine (Neugebauer 2013).

Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen bestehen aus unterschiedlichen Bauteilen, wobei die Membran das Herzstück einer Zelle bildet. Sie leitet Wasserstoff-Protonen von der Anode zur Kathode, ist aber undurchlässig für Gas und ein elektronischer Isolator. Wasserstoff wird auf eine Seite der Membran eingebracht und teilt sich am Katalysator, mit welchem die Membran beschichtet ist, in Protonen und Elektronen auf. Protonen werden durch die Membran geleitet während Elektronen über eine Kollektorplatte abgeleitet, über einen elektrischen Verbraucher geführt, und auf der anderen Seite der Membran wieder in die Zelle geführt werden. Dort treffen sie auf die Protonen und auf, durch die Kathode geleiteten, Sauerstoff und bilden Wasser. Da eine einzelne Zelle nur eine kleine Spannung erzeugt, werden Zellen für praktische Anwendungen zu einem Brennstoffzellen-Stack gestapelt (Barbir 2013).

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Elektrische Kurzschlüsse in Brennstoffzellen-Stacks liegen vor, wenn es zu einer elektrisch leitfähigen Verbindung zwischen Anoden- und Kathodenseite einer Einzelzelle kommt. Dadurch entsteht eine parallele Last und somit ein paralleler Stromfluss zum eigentlichen Laststromkreis (Barbir 2013). Sie führen zu Schäden und sind einer der häufigsten Gründe für den frühen Ausfall eines Brennstoffzellen-Stacks (Niroumand et al 2020). Deshalb müssen diese verhindert werden, wodurch der Bedarf nach entsprechenden Erkennungsverfahren besteht.

Solche Kurzschlusstests sollen im Fertigungsverfahren routinemäßig angewendet werden, um defekte Stacks zu erkennen (Baum et al. 2021). Jedoch sind zum derzeitigen Zeitpunkt noch keine standardisierten Tests dazu verfügbar. Mögliche Verfahren sind die Erkennung von Kurzschlüssen mittels an den Stack angelegter Gleichspannung sowie mittels eines in den Stack eingebrachten wasserstoffreichem Gas. Beide Methoden werden in der Arbeit untersucht.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Für die Versuche steht ein Brennstoffzellen-Stack der Marke TDM zur Verfügung. Dabei handelt es sich um einen PEM-Brennstoffzellen-Stack, welcher flexibel aufgebaut werden kann und speziell für Bildungs- und Forschungszwecke entwickelt wurde. Dieser Stack verfügt über eine offene atmosphärische Kathode, der Aufbau aus 6 Zellen hat eine aktive Fläche von 10 cm² und die Leistung beträgt 9 W. Der Gleichspannungstest wird zudem zur Überprüfung der Skalierbarkeit auf einem von AVL entwickelten Stack durchgeführt, welcher über 28 Zellen mit einer aktiven Fläche von 300 cm² verfügt. Die Leistung beträgt ca. 10.000 W. Zum Messen werden zwei MonoDAQ-U-X Datenerfassungs- und Aufzeichnungsmodule eingesetzt. Zur Untersuchung und Simulation von Kurzschlüssen werden ohmsche Widerstände von 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω und 1000 Ω an die Brennstoffzelle angelegt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Für den Gleichspannungstest wird die integrierte Spannungsversorgung eines MonoDAQ Geräts genutzt. Die angelegte Spannung beträgt 1,5V. Die Messung der Zellspannungen erfolgt über zwei MonoDAQ-U-X Module. Durch die angelegte Spannung kommt es zu einem Stromfluss durch den Stack und dadurch zu einem Spannungsabfall an jeder Einzelzelle. Ein Vergleich der Zellspannungen liefert Aufschluss über das Vorliegen eines elektrischen Kurzschlusses in einer Einzelzelle. Liegt ein solcher vor, so ist der Widerstand der betroffenen Zelle und somit auch der Spannungsabfall kleiner als bei einer nicht kurzgeschlossenen Zelle, da der Kurzschluss eine Parallelschaltung zum eigentlichen Zellwiderstand darstellt.

Für das Testverfahren mit wasserstoffreichem Gas wird ein Gemisch aus 5 % Wasserstoff in Stickstoff genutzt und auf die Anodenseite des Stacks geleitet. Die Zellspannungen werden analog zum oben beschrieben Aufbau gemessen. Kurzschlüsse werden mit den bereits genannten Widerstandswerten simuliert, wodurch es in den kurzgeschlossenen Zellen zu einem internen Stromfluss und folglich zu ohmschen Spannungsverlusten kommt, welche sich in einer geringeren Spannung der betroffenen Einzelzelle äußern.

5. ERGEBNISSE

Beim Test mit Gleichspannung zeigt sich, dass nach dem Anlegen der Spannung an den Stack ohne simulierten Kurzschluss alle Zellen mit einer Spannungsantwort reagieren. Da 1,5 V an 6 Zellen angelegt werden, entspricht der Erwartungs-

wert der Zellspannung 0,25 V pro Zelle. Tatsächlich streuen die Spannungen jedoch besonders beim Anlegen der Spannung und nähern sich nach ca. 40 s stationären Werten. Ein 100 Ω Kurzschluss an Zelle 3 verursacht eine wesentlich geringere Spannung an dieser Zelle. Ein Vergleich der Spannungswerte findet sich in Tabelle 1. Die kurzgeschlossene Zelle ist hierbei hervorgehoben.

Zelle	1	2	3	4	5	6
U/V	0,28	0,33	0,20	0,22	0,23	0,24
U/V	0,36	0,41	**0,03**	0,24	0,22	0,24

Tab. 1: Zellspannungswerte bei Gleichspannungstest

Weitere Versuche bestätigen, dass eine direkte Abhängigkeit der sich einstellenden Zellspannung vom Widerstand des simulierten Kurzschlusses besteht wie in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Abbildung wird zusätzlich zur gemessenen Spannung auch die berechnete Spannung gezeigt. Es ist zu erkennen, dass sowohl die gemessenen als auch die berechnete Zellspannung bei 1000 Ω nur mehr eine geringe Differenz zur Spannung ohne Kurzschluss aufweisen und somit in diesem Bereich die Grenze der Erkennbarkeit liegt.

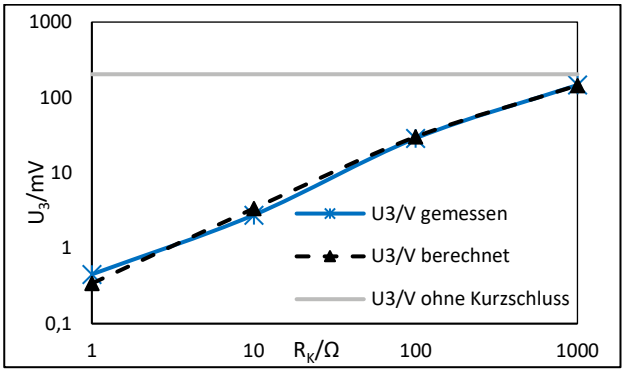


Abb. 1: Zellspannung in Abhängigkeit des Kurschlusswiderstands

Da angenommen wird, dass die Spannungen der Zellen rund um den Erwartungswert normalverteilt sind, wird für den Test eine Standardabweichung berechnet und ein 95 % Zufallsstreubereich definiert, welcher aussagt, dass Zellspannungen unter einem bestimmten Wert auf einen Kurzschluss schließen lassen. Der maximal in den Versuchsreihen nachgewiesene Kurzschlusswiderstand beträgt 1000 Ω. Für den größeren AVL Stack kann eine sichere Erkennung in den durchgeführten Tests nur bis 10 Ω nachgewiesen werden. Begründet werden kann dies durch die größere Fläche und den somit kleineren Widerstand einer Zelle. Große Kurzschlusswiderstände verringern den Gesamtwiderstand der Zelle nur wenig und der Effekt auf die Zellspannung ist gering.

Für den Test mit wasserstoffreichem Gas zeigt sich, dass die Durchströmung mit Formiergas die zu erwartete Spannung an den Zellen verursacht. Zu Beginn der Durchströmung wird eine Spannungsspitze an den Zellen ausgelöst, welche für die Kurzschlusserkennung ausgewertet werden kann. Die Höhe dieser Spannungsspitze und der sich einstellenden Zellspannung während der Durchströmung sowie das Abklingverhalten nach Unterbrechung der Gaszufuhr sind abhängig vom Kurzschlusswiderstand. Die Höhe der Spannungsspitze für einen Test ohne Kurzschluss sowie für einen simulierten 100 Ω Kurzschluss an Zelle 3 sind in Tabelle 2 dargestellt. Die kurzgeschlossene Zelle ist erneut hervorgehoben.

Zelle	1	2	3	4	5	6
U/V	1,01	1,00	1,00	1,02	1,00	0,98
U/V	1,02	1,06	**0,80**	1,06	0,99	0,99

Tab. 2: Zellspannungswerte bei Gastest

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Beide Testverfahren eignen sich grundsätzlich zur Erkennung von Kurzschlüssen an einem Brennstoffzellen-Stack. Welches Testverfahren zur Anwendung kommt, hängt von unterschiedlichen Aspekten ab. Zum einen sollte betrachtet werden, wie groß der Widerstand eines möglichen auftretenden Kurzschlusses im Fertigungsprozess eines Stacks ist. Zum anderen spielt es eine wesentliche Rolle, ob der Stack im Zuge von Leckagetests an eine Gasversorgungseinheit angeschlossen wird und somit die Tests kombiniert werden können. Ansonsten lässt sich der Test mit Gleichspannung mit geringerem Aufwand und einfacheren technischen Aufbauten umsetzen.

Als zukünftiger Forschungsgegenstand kann die Höhe von real zu erwartenden Kurzschlusswiderständen sowie weitere Untersuchungen, vor allem an praxisnahen Zelldesigns, genannt werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Baum, C.; Janssen, H.; Brecher, C.; Schuh, G.; Aretz, M.; Hamm, C.; Horstkotte, R.; Kersting, M.; Lee, S.; Massonet, A.; Müller, C.; Nadicksbernd, M.; Panchenko, U.; Schenk, L.; Scholz, P. & Voebel, T., 2021. *The Relevance of Fuel Cells for Mobility Applications: Discussion Paper*, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie, 978-3-00-067727-4, Aachen

Barbir, F., 2013. *PEM fuel cells: Theory and practice,* Elsevier, 978-0-12-387710-9, Amsterdam

Neugebauer, R., 2022. *Wasserstofftechnologien,* Springer Vieweg Berlin, 978-3-662-64511-6, Heidelberg

Niroumand, A.; Homayouni, H.; Goransson, G.; Olfert, M. & Eikerling M., 2020. In-situ diagnostic tools for hydrogen transfer leak characterization in PEM fuel cell stacks part III: Manufacturing application, *Journal of Power Sources*, Vol. 448 (February 2020), 1873-2755

AUTOR

Lukas Stocker, BSc.

AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, 8020 Graz, +43 316 787 7984, lukas.stocker@avl.com

2015 – 2018: Project Engineer, Lindner E-Tech GmbH, Spittal an der Drau
seit 2018: System Designer Electrics, AVL List GmbH, Graz

2009 – 2014: HTL-Lienz Mechatronik
2020 – 2023: Bachelorstudium Automatisierungstechnik, FH CAMPUS 02

VORARLBERG UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES: CONCEPT DEVELOPMENT FOR THE TRANSFER OF ENERGY TO SUPPLY AN INTERNET OF THINGS MODULE ON A ROTATING MECHANICAL COMPONENT)

Mark Winkler, BSc

Custom mechanical clamping devices, as they are used in industrial milling machines, are used for high-precision processing. To ensure a high degree of accuracy, it is important to know the temperature difference between the bearings inner, and outer ring. This difference correlates with the displacement of the tool center point. To achieve this, electronic components have to be supplied with power while being mounted inside a rotating mechanical component. This thesis takes a look on how this can be achieved. It is essential to conduct a detailed concept research in order to harvest electrical energy in the most efficient way. Therefore, different concepts and the technologies are compared and evaluated. The results show that magnetic induction is best suited for this type of application. The advantages and disadvantages of various design choices and their pitfalls are also outlined and discussed.

1. INTRODUCTION

Clamping devices, as they are used in industrial CNC (computerized numerical control) milling or turning machines are used for high-precision processing. Through active cooling, the displacement of the tool centre point can be determined within 20μm. If the internal and external bearing temperatures are known, the displacement can be corrected by positioning the motor spindle. The goal is an accuracy of less than 10μm. In order to measure the temperature, an energy harvester must be designed, which supplies the sensors and microcontroller with power.

2. TASK DEFINITION

The task is, to develop a concept for the transfer of energy on a rotating mechanical component. The energy is then used to supply an IoT module.

3. MATERIALS AND METHODS

The software used for designing the simulation was Matlab, the construction was SolidWorks, and the circuit was DipTrace. For the test station shown in figure 1 a clamping device was mounted to a direct current motor. The motor then was connected to an ACDC-converter/voltage regulator.

Figure 1: Test Station

4. PRACTICAL REALISATION

The implementation can be divided into three segments: the simulation, the test rig and the electronics.

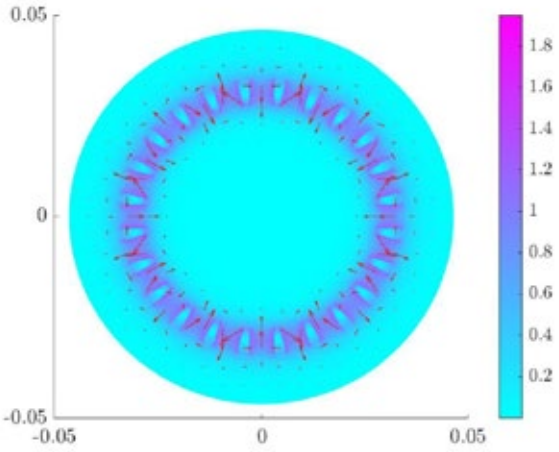


Figure 2: Magnetic Flux Density

First, the simulation is made with Matlab. The geometry is passed on to the simulation to create a finite element model of a magnet ring. Then the

material parameter, are set to generate an alternating polarity array of magnets directed towards the centre of the ring. Thereby, the magnetic flux density in the ambiance can be determined, as shown in figure 2. Finally, with the parameter of the coil, running in a circle within the ring, the inducted voltage can be defined.
Second, a test rig is made. The construction that holds the magnets and coils in place within the test station is designed with SolidWorks, then printed with a 3D-printer. After verifying the simulation, the maximum power point has been tested as shown in figure 3.

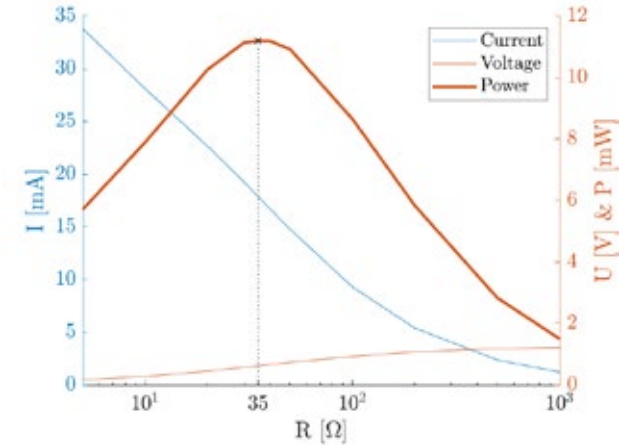


Figure 3: Maximum Power Point at 3.000rpm

Third, the electronics is designed with DipTrace. As an integrated circuit the texas instuments BQ25570 is used. To power it, a full-wave rectifier using a center tapped transformer and two diodes upstream is installed. The power is receives is shown in figure 4. The dimensioning of the remaining electronics was made according to the datasheet of the BQ25570.

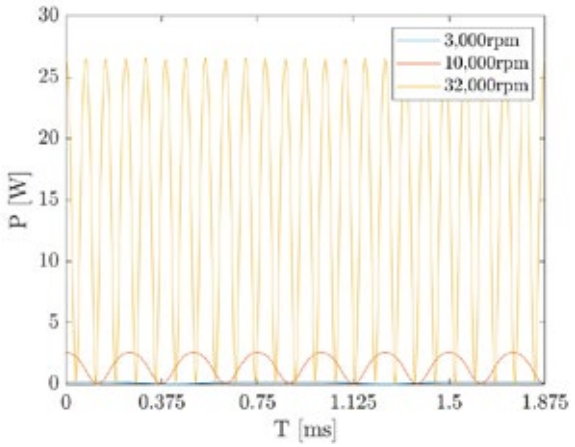


Figure 4: Rectified Voltage

5. FINDINGS

After receiving the electronics and testing the harvester at the test station following points could be determined. First, the harvester works up to 3.000rpm as expected. Second, the simulation can be used to test changes in advance and therefore, optimising the harvester as cost efficient as possible. Third, the harvester fulfils its requirements to supply an IoT module.
Due to the low rotational speed of the test station the following points could not been tested: a linear power increase of the supply voltage at higher speeds, the resistance of the electronics to vibrations, and high radial accelerations.

6. SUMMARY AND OUTLOOK

This is a concept with great potential in diverse areas of application. For example, monitoring different parameter, of rotating mechanical components to extend the service life. This saves material which is good for the environment and saves costs. Also, by optimising the design of the magnets, coils, and electronics, it is possible to achieve even more power or smaller dimensions.

AUTHOR

Mark Winkler, BSc
Vorarlberg University of Applied Sciences
Hochschulstraße 1, 6850 Dornbirn
Phone: 0043 664 2048083
E-mail: mark.win@outlook.de

I was born and raised in Dornbirn. After graduating from HTL Dornbirn, I completed my civilian service at the call assistance red cross. At the age of 23 I moved to Linz and started to study mechatronics at JKU. After a while, I reoriented myself and transferred to the FHV where I completed my bachelor's degree in mechantronics.

cubicure
printing performance polymers

Hot Lithography®.

Driving digital manufacturing.

Nominierungen

Beste Masterarbeit

FH VORARLBERG: EVALUATING THE PERFORMANCE OF THE DIGITAL IMPLEMENTATION OF A FAST AVERAGE CURRENT MODE CONTROL TOPOLOGY FOR A BUCK CONVERTER}

Brunner, S.

Abstract: *The Fast Average Current Mode control methodology is a novel method for the implementation of a current compensator in a switched-mode power supply. It does not require compensation against sub-harmonic instability and is inductor independent. In this work, the digital implementation of this topology is compared against an analog implementation using simulation. Additionally, a hardware prototype is created to validate the digital simulation's results.*

In a Simulink environment, parameters of the digital implementation, such as the digital-to-analog converter resolutions and the delay counter frequency are varied to research their impact on system performance. The simulations show that a digital current compensator has similar performance as an analog implementation when designed tailored to the application. When evaluating the whole control loop the digital system is inferior due to added delays caused by digital to analog conversion.

By operating the Buck converter hardware implementation as a current source, the functionality of the current mode control implementation in a FPGA is proven. Voltage control cannot be validated due to hardware issues. Due to the successful simulation of the source code with a mixed signal model of the converter, it can be assumed that it is functional.

Apart from performance, a digital implementation shows many benefits compared to an analog solution, such as configurability of control parameters and easy compensation of component variations and aging.)

Index Terms: *DC-DC converter, switched-mode power supply, current mode control, digital control*

1. INTRODUCTUION

In an increasingly electrified and interconnected world, the ability to efficiently and reliably convert and distribute electrical power is paramount. For long-distance transport AC is still preferred, but the amount of DC supplied devices is rapidly increasing. As voltage levels differ widely, reliable, efficient and capable methods to transfer these levels must be used. switched-mode power supplies (SMPS) are currently the state of the art in DC-DC power conversion. As operating conditions are seldom constant and the requirements on output voltage quality are ever-increasing, performant controllers have to be utilized. The recently invented Fast Average Current Mode Control (FACMC) topology is a novel method for implementing current mode control, which enables higher controller bandwidth than traditional approaches. This increases performance at load transients. (Cappelletti 2023)

2. PROBLEM DESCRIPTION AND GOAL

Traditionally power converters have been controlled by time-continuous analog controllers. In other control engineering applications digital control is nowadays widespread. For high-frequency SMPS applications the controller's performance is often limited by digitization of analog signals. Especially the current signal is very dynamic and cannot be sampled at a high enough rate to enable high bandwidth current mode control implementations. By transferring the FACMC analog implementation into a digital concept these restrictions can be partially circumvented.

The scope of this work is to compare a digital concept of the FACMC against its analog implementation by simulation and hardware validation.

3. SOURCES AND METHODS

The FACMC topology consists of a current comparator and an adjustable delay unit, which is depicted in fig. 1. The current comparator has the inductor current as one input and a reference current from the voltage controller as the other input. The reference current value is the desired average inductor current. If these signals cross over each other, the comparator output toggles. Depending on the input and output voltage the comparator edge is delayed to generate the switching signal. Additional parameters for the delay length are the switching frequency, the polarity of the *comp*-edge as well as the converter topology. In analog these delays are generated by charging a capacitor with a voltage-controlled current source until a threshold voltage is reached, which defines the delay length. By analysis of the analog schematic the signals and the delays can be defined by mathematical functions.

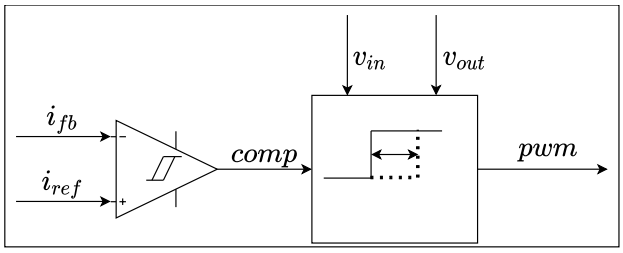


Figure 1: Fast Average Current Mode Control Structure

The design is implemented in analog and digital in MATLAB Simulink 2023a with the PLECS Blockset Version 7.2. This solution is chosen for its fast simulation time and ease of use with pre-made libraries. Simulations are controlled by a Matlab script and executed using the parallel computing toolbox. Depending on the test data was analyzed differently. Steady state data was analyzed using statistical methods (mean, standard deviation, boxplot) and load transient simulations were checked for peak over-/undershoot as well as settling time.

As one goal is validation on hardware it was specified that the switching frequency of the Buck converter shall be 400 kHz and an input voltage of 12 V shall be converted to 3.3 V at 1 % tolerance. As a platform for the implementation a PYNQ-Z1 FPGA development board with a custom PCB for the power-path is used.

4. IMPLEMENTATION

For the digital concept of the FACMC it isn’t possible to have a fully digital solution, as the inductor current cannot be digitized with high enough bandwidth. Therefore the reference

current is converted to analog using a Digital-to-Analog Converter and the comparation is done in analog. The binary comparator signal is sampled with a fixed frequency. If a edge is detected the delay is generated using a counter. Parameters which can be adjusted within the simulation are the ADC- and DAC-resolution as well as the sampling/counter-frequency.

For the hardware implementation a finite state machine controls the operation of the controller with additional features such as soft-startup and handling of error conditions. This design was verified using a Digital Mixed Signal Model of the Buck converter.

5. RESULTS

For the digital implementation, variations of DAC and ADC resolutions, as well as counter frequency is executed. For the following plots a DAC resolution of 10 bits, a ADC resolution of 12 bits and a counter frequency of 200 MHz is used.

a) Steady-State

In steady-state operation the output ripple is analyzed by comparing the standard deviation of the output voltages. For the results in fig. 2 the output voltage is analyzed over 2.5 ms (≈ 1000 switching cycles) at an output power of 1 W. This operating point is chosen because it shows the highest variations. All the implementations manage to hold the targeted ±1 % tolerance requirement.

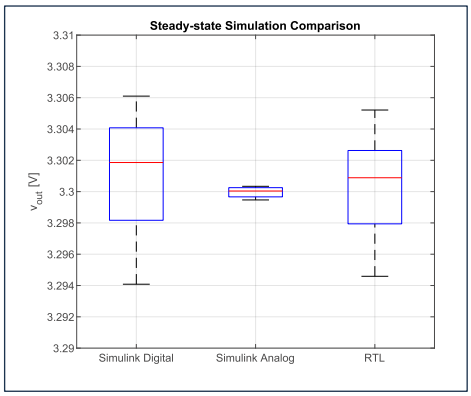


Figure 2: Boxplot of output voltage in steady state

Evaluating the parameters of the digital implementation it is found that a DAC resolution of 7 bits, an ADC resolution of 10 bits is sufficient to reach similar results as depicted in the fig 2. Counter frequency has no effects on steady state performance, as long as the calculated delays can be achieved roughly.

b.) Transients

For transient analysis load steps from 1 W to 10 W and back are executed with the defined maximum current slew rate. In fig. 3 it is visible that only the analog solution manages to be within the requirements for peak undershoot.

None of the solutions manages to hold the overshoot tolerance. Reason for that is limited controller bandwidth. For digital controller evaluation the system has to be stable over a wide range of parameters and therefore the voltage compensator gain has to be reduced to keep enough phase margin even at adverse parameter combinations.

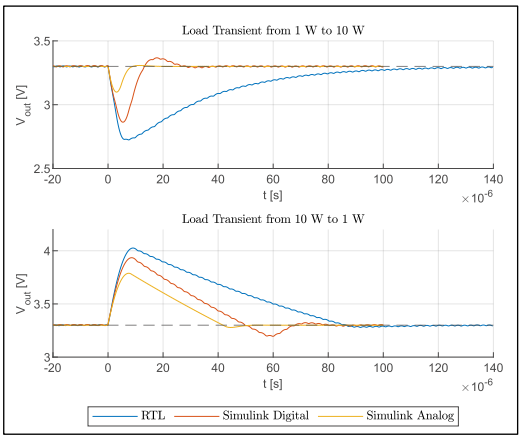


Figure 3: Output voltage at load transients

When performing tests on hardware it could be concluded that the digital concept is functional, but improvements are necessary for better performance and stability.

6. CONCLUSION AND OUTLOOK

The presented evaluation showed that a digital implemented FACMC shows no drawbacks compared to an analog implementation. The performance differences originate from the delay introduced by sampling the output voltage as well as the voltage compensator design. With further work the voltage controller could be optimized and benefits of digital systems utilized to bring digital controller performance in line with the analog implementation.

As performance is only one factor for a design feasibility study other factors such as efficiency and silicon area have to evaluated before implementing a fully digital controlled power management integrated circuit.

Digital solutions may not be the best solution for every use-case but for sure there are applications, which can benefit from the configurability and stability of digital average current mode control.

7. BIBLIOGRAPHY

Cappelletti, Andrea. 2023. Control Architecture of DC-DC converter. European Patent Office, filed March 10, 2023.

AUTHOR

Simon Brunner

Photeon Technologies GmbH/FHV, simon.brunner@photeon.com/brsi@fhv.at
2023 – present: Research Associate, FHV;
2021 - present: Digital Design Engineer, Photeon Technologies GmbH
2020, 2021: internship & bachelor's thesis, Inventus Development GmbH

FH CAMPUS 02: ANALYSE UND OPTIMIERUNG VON ELEKTROLYSESTACKS

Joshua Eder

Kurzfassung: *Die Arbeit beschäftigt sich mit einer äußerst vielversprechenden und zukunftsweisenden Technologie zur Erzeugung von erneuerbarem „grünen" Wasserstoff, der PEM (Proton Exchange Membrane) Elektrolyse. Diese Technologie ist auf Einzelzellbasis schon weitgehend untersucht. Für eine genauere Untersuchung der internen Widerstände und der elektrochemischen Vorgänge wird auf Einzelzellbasis das Verfahren der Impedanzspektroskopie erfolgreich angewendet. Um größere elektrische Leistungen zu realisieren, werden mehrere Einzelzellen zu einem Stapel „Stack" zusammengeschaltet. Das Messprinzip der Impedanz-spektroskopie wurde neu konzipiert und auf eine weitaus größere elektrische Leistungsebene gehoben, um Messungen bei leistungsstarken Stacks zu ermöglichen. Eine eigens entwickelte Schaltung erlaubt es, hochfrequente Stromamplituden aufzuprägen und Elektrolysestacks mithilfe dieses Messerverfahrens detailliert zu charakterisieren. Um Stacks möglichst akkurat und in einem breiten Anwendungsbereich testen zu können, wurden im Rahmen der Masterarbeit auf Basis von statistischen Versuchsplänen mathematische Modelle entwickelt, die die Performance vorhersagen können.*

Schlüsselwörter: *Wasserstoff, Impedanzspektroskopie, Statistischer Versuchsplan, PEM-Elektrolyse, Stacks, Polarisationskurve*

1. EINLEITUNG

Um erneuerbaren Wasserstoff als Energieträger der Zukunft zu etablieren, darf seine Herstellung nicht mit der Emission klimaschädlicher Gase einhergehen. Eine Möglichkeit zur emissionsfreien Herstellung von Wasserstoff stellt die Wasserelektrolyse dar. Vor allem interessant ist die Kopplung von intermittierenden erneuerbaren Energiequellen wie Windkraft mit einem Elektrolysesystem. Die Elektrolyse ermöglicht die Nutzung von Energiespitzen und eine Speicherung dieser Energie in Form von Wasserstoff (Töpler und Lehmann 2017). Der Markthochlauf von grünem Wasserstoff ist seit der Gaskrise aktueller denn je (Ansari et al. 2022). Kern eines Elektrolysesystems sind Elektrolysestacks, die aus mehreren in Serie geschalteten Zellen aufgebaut sind. Sie ermöglichen eine größere elektrische Anschlussleistung und dadurch eine gesteigerte Wasserstoffproduktion.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Es sollen Verfahren und Methoden entwickelt werden, um Elektrolysestacks testen, analysieren und optimieren zu können. Die Messdaten von unterschiedlichen Herstellern, sowie Prototypenstacks sollen verglichen und technologiespezifische Optimierungen herausgearbeitet werden. In weiterer Folge kann außerdem die Betriebsstrategie optimiert werden. Die Messergebnisse der Impedanzspektroskopie beschreiben die internen elektrochemischen Vorgänge. Diese Daten bilden eine Entscheidungsbasis für weitere Entwicklungsschritte des Stackaufbaus und der Katalysatorauswahl.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zeiteffizientes Testen von Prüflingen in einem breiten Betriebsbereich wird durch die Methode der statistischen Versuchspläne ermöglicht. Es wurde die Herangehensweise der Literatur ‚Statistische Versuchsplanung' von Karl Siebertz, David van Bebber und Thomas Hochkirchen gewählt. Der Versuchsplan für die Erstellung eines Modells zur Beschreibung des Prüflings in verschiedenen Betriebspunkten basiert auf dem Design von Box-Behnken. Zusätzlich werden nichtlineare Zusammenhänge mit diesem Verfahren ausgewertet.

Die angewandte Methode der Impedanzspektroskopie funktioniert mittels Aufmodulierung eines pulsierenden Wechselanteils auf den konstanten Gleichstrom des Stacks. Die Amplitude des Pulsationsstroms liegt im Bereich von 5 bis 10 % des Gleichanteils. So wird gewährleistet, dass der Prüfling noch ein lineares Verhalten zeigt und die Theorie des LZI-Systems (Linear zeitinvariantes System) angewendet werden kann. Die Frequenz des Signals wird in einem Spektrum von 1 Hz bis 50 kHz dekadisch mit 10 bis 20 Punkten pro Dekade verändert. Abhängig von der Frequenz dominieren verschiedene Prozesse im Prüfling die Impedanz. Die Auswertung erfolgt im Nachgang mithilfe einer Fast-Fourier-Transformation. Der Output einer Messung ist eine Ortskurve, auch Nyquist-Plot genannt. Aus diesem Diagramm können mithilfe eines Ersatzschaltbildes einzelne Impedanzen isoliert betrachtet und viele Optimierungspotentiale ausgelesen werden. Kontaktwiderstände zwischen den Zellen geben Auskunft über eine ausreichende Verpressung des Stacks und über die richtigen Materialpaarungen. Die Ionenleitfähigkeit der Membran wird als Optimierungsansatz für das Membranmaterial, aber auch deren Dicke verwendet. Reaktionswiderstände geben Auskunft über die Performance der Katalysatoren.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Entwicklung des Impedanz-Spektrografs für Elektrolysestacks wurde mittels einer Koppelschaltung von Gleich- und Wechselstromquelle realisiert. Er besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten: Gleichstromquelle, Wechselstromquelle, digitales Oszilloskop mit Datenerfassung, Signalgenerator und Stromsensorik. Eine der Herausforderungen ist die energietechnische Entkopplung der beiden Stromquellen, das ist notwendig, um eine gegenseitige Beeinflussung der Regelungen zu verhindern. Die beiden Quellen wurden mit einer Koppelschaltung bestehend aus Kondensatoren, Dioden und Spulen zusammengeschaltet. Eine umfassende Simulation der Schaltung in Abb. 1 bildet die Basis der Dimensionierung der Koppelbauteile. Die Prüflingsimpedanz wurde aus einer Einzelzellenmessung durch Modellbildung mittels Ersatzschaltbild-Fitting ermittelt. Die im

Haus entwickelte Software ‚Hy-SPICE' steuert alle Aktuatoren und Sensoren.

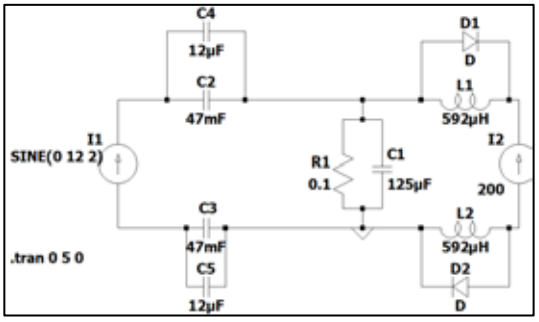


Abb. 1: Koppelschaltung in LT-Spice

5. ERGEBNISSE

Im Zuge der Testkampagne für den statistischen Versuchsplan wurde eine Betriebsparametervariation durchgeführt. Die Messungen der Polarisationskurven des Prüflings in Abb. 2 zeigen die durchschnittliche Zellspannung des Stacks über die Stromdichte. Je geringer die Spannung, desto besser die Performance. Die Ergebnisse zeigen eine starke Temperaturabhängigkeit. Durch die Auswertungen des Modells konnte die optimale Betriebstemperatur bei 75 °C ermittelt werden.

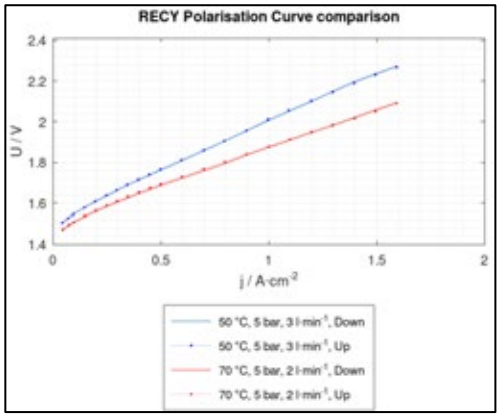


Abb.2: Polarisationskurven eines Prototypenstacks bei verschiedenen Temperaturen

Die erreichten Spezifikationen des Impedanz-spektroskopie- Messaufbaus sind:

- Frequenzbereich: 50 kHz – 1 Hz
- Maximale Wechselstromamplitude: 20 A bei 50 kHz, 12 A bei 1 Hz
- Gleichstrom: 450 A bei 33 V
- Galvanostatische Messmethode (Stromgeführt)

Abb. 3 zeigt eine Stack-Impedanzmessung mit einem kommerziellen Messgerät (Gamry Reference 3000) und eine Messung mit der Eigenentwicklung. Die beiden Messergebnisse liegen beim Nulldurchgang um 6,53 mOhm·cm²·n^{-1} auseinander. Das bedeutet, dass der Messaufbau vergleichbare Ergebnisse liefert und keine Artefakte in die Messung einbringt.

Die Messung wurde nach Fertigstellung der Arbeit aufgenommen und in der Masterarbeit von Clemens Weiskopf veröffentlicht. Er hat die Messdatenauswertung weiterentwickelt.

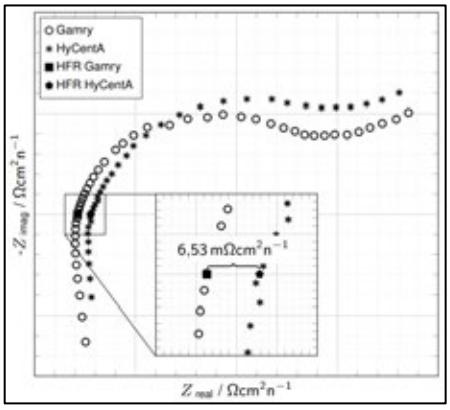


Abb. 3: Validierung des Messaufbaus und der Datenauswertung mithilfe einer Referenzmessung mit einem Gamry Reference 3000 (Weißkopf 2022)

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mithilfe der Versuchspläne kann die Charakterisierung der Prüflinge sehr genau und zeiteffizient gestaltet werden. Sie bieten außerdem eine gute Basis, um verschiedene Stacks miteinander vergleichen zu können.

Die Impedanzspektroskopie-Messungen ermöglichen es, bis dato wenig untersuchte Widerstände im Stack zu vermessen. Die Daten sind notwendig für eine genaue Analyse der Prüflinge und der Identifikation von Optimierungspotentialen in der Stackkonstruktion. Im Rahmen der Masterarbeit wurde die Schaltung umgesetzt und mit zwei Stacks validiert und verifiziert. Bei einem Prototypenstack konnten bereits wichtige Information zur Stackkonstruktion gewonnen werden. Der direkte Vergleich der beiden getesteten Stacks zeigt auf, dass vor allem im Prototypenstack in manchen Bereichen noch Verbesserungspotenzial steckt. Beispielsweise war ein Ergebnis aus den Tests, dass das Katalysator-bindematerial eine unzureichende elektrochemische Stabilität aufweist.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Lehmann, J., Töpler, J., 2017. *Wasserstoff und Brennstoffzelle*, Springer Verlag, ISBN 978-3-662-53359-8, Esslingen

Ansari, D., Grinschgl, J., Pepe, J. M., 2022. Elektrolyseure für die Wasserstoffrevolution, *Available from*: https://www.swp-berlin.org/10.18449/2022A58/: 2023-09-29

Weiskopf, C., 2022. Elektrochemische Charakterisierung von Elektrolyse Stacks mittels Impedanzspektroskopie, unveröffentlichte Masterarbeit.

AUTOR

DI Joshua Eder
HyCentA Gmbh, Inffeldgasse 15, 8010 Graz,
+43 677 61616407, eder@hycenta.at

2017 – 2020 System Designer Mechanics bei der AVL List Gmbh
2021 – Heute: Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der HyCentA Gmbh
2018 – 2021: FH Campus 02 Bachelor Automatisierungstechnik berufsbegleitend
2021 – 2023: FH Campus 02 Master Automatisierungstechnik – Wirtschaft berufsbegleitend

FH CAMPUS WIEN: ANALYSE UND ANWENDUNG VON MACHINE LEARNING-ALGORITHMEN FÜR DIE PRÄDIKTIVE WARTUNG VON WERKZEUGMASCHINEN

Markus Hinterecker, MSc.

Kurzfassung: *Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik der prädiktiven Instandhaltung von Werkzeugmaschinen mithilfe von Datenanalysenmethoden der künstlichen Intelligenz. Um die definierten Forschungsfragen zu beantworten, wurde zunächst eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, in welcher verschiedene Instandhaltungsstrategien untersucht wurden. Hierbei konnte ermittelt werden, dass eine datengetriebene prädiktive Instandhaltungsstrategie mittels Algorithmen des maschinellen Lernens vielversprechende Ergebnisse liefern könnte, weswegen adäquate Algorithmen, im Zuge der Literaturrecherche, für eine prädiktive Instandhaltungsstrategie ermittelt wurden. Diese wurden aufgrund ihrer Eignung für die prädiktive Wartung ausgewählt und im praktischen Teil dieser Arbeit standardisiert miteinander verglichen.*

Schlüsselwörter: *künstliche Intelligenz, Machine Learning, Instandhaltungsstrategie, prädiktive Instandhaltung*

1. EINLEITUNG

Aufgrund der enormen Datenmengen, welche Unternehmen heutzutage zur Verfügung stehen, sind Unternehmen aus diversen Branchen stark darauf konzentriert diese Daten zu nutzen, um einen Wettbewerbsvorteil daraus generieren zu können. Während hierfür früher noch Teams von Statistikern Programme und Analysemodelle erstellten, um Datensätze manuell zu untersuchen, müssen heute Computersysteme eingesetzt werden, da das Volumen und die Vielfalt der gesammelten Daten exponentiell gestiegen sind (vgl. [PRF13] S.2).

In der produzierenden Industrie sind die Wartung und Instandhaltung ein äußerst wichtiger Faktor, welcher die Effizienz von Maschinen stark beeinflusst. Aufgrund dessen müssen Fehler in den Anlagen erkannt und behoben werden, um ungeplante Produktionsausfälle zu verhindern. Mit der auch hier exponentiell steigenden Datenverfügbarkeit können sehr wertvolle Informationen über den Fertigungsprozess, das Produktionssystem oder einzelne Maschinen gewonnen werden, wobei sich das maschinelle Lernen als eine Schlüsselmethode der Datenanalyse in der prädiktiven Instandhaltung erweisen konnte (vgl. [CAP20] S.1-2).

Diese Arbeit beschäftigt sich aufbauend auf dieser Problemstellung mit der Ermittlung passender Machine Learning Algorithmen und der Anwendung dieser an Datensätzen von Fertigungsprozessen, um die ermittelten Algorithmen hinsichtlich deren Einsatzfähigkeit für prädiktive Instandhaltungskonzepte zu untersuchen und standardisiert zu vergleichen. Ebenso wurde untersucht, in welcher Form, Ausmaß und Struktur Daten gesammelt und aufbereitet werden müssen, damit diese von Machine Learning-Algorithmen analysiert werden können, um verlässliche Prognosen und Analysen relevanter Zustandsparameter oder möglicher auftretender Fehler durchführen zu können.

2. ZIELSTELLUNG DER ARBEIT

Die Zielstellung der Arbeit wurde definiert als die Ermittlung und Analyse von adäquaten Machine-Learning Algorithmen anhand einer vertiefenden Literaturrecherche sowie dem Vergleich verschiedener Implementationsansätze von Machine Learning.
Um diese Zielstellung zu erfüllen, wurden die ermittelten Algorithmen an drei ausgewählten Datensätzen, im Sinne eines prädiktiven Wartungskonzepts, angelernt und standardisiert miteinander verglichen. Hierbei konnte zusätzlich analysiert werden in welcher Form und Struktur Daten gesammelt und vorbereitet werden müssen, um verbesserte Analyse- bzw. Prognoseergebnisse der Algorithmen erreichen zu können.

3. METHODIK

Bei der durchgeführten Forschung wurde quantitativ geforscht und mittels standardisierter Beobachtungen Kennwerte gesammelt, um diese anschließend miteinander vergleichen zu können. Die Methodik, die angewandt wurde, folgt folgendem Ablauf:

Quantifizierung: Standardisierung von Kennwerten zur Vertrauenswahrscheinlichkeit und Klassifikationsbewertung
Definition einer standardisierten Beobachtung: Definition eines standardisierten Ablaufs zur Durchführung einer Datenanalyse mittels Machine Learning-Algorithmen, um konsistente und zuverlässige Kennwerte generieren zu können
Auswertung der Kennwerte: Implementation und Auswertung der Machine Learning-Algorithmen
Diskussion der gesammelten Kennwerte: Die Ergebnisse werden interpretiert und mögliche Auswirkungen diskutiert.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Aufbauend auf der beschriebenen Literaturrecherche konnten drei Algorithmen des maschinellen Lernens identifiziert werden, welche sich für die prädiktive Wartung eignen könnten. Ausgewählt wurden diese Algorithmen aufgrund deren Erwähnungen in aktuellen Forschungen im Kontext der prädiktiven Wartung sowie derer Fähigkeit mit unstrukturierten Daten umgehen zu können. Bei den ausgewählten Algorithmen handelte es sich um die Algorithmen Decision-Tree, k-nearest Neighbor und Support Vector Machines. Um die ausgewählten Algorithmen miteinander vergleichen zu können, wurden drei Datensätze von Fertigungsprozessen ausgewählt, welche nun kurz beschrieben werden sollen.

Der erste Datensatz war der AI4I-2020 Datensatz. Bei diesem Datensatz war das definierte prädiktive Wartungskonzept, dass der auftretende Fehler prognostiziert werden sollte. Verfügbare Daten waren unter anderem die auftretenden Prozesstemperaturen, auftretendes Drehmoment an der Spindel und die aktuelle Abnutzungsdauer des verwendeten Werkzeugs. Der zweite Datensatz war ein Datensatz eines Fräsprozesses bereitgestellt von der NASA für Forschungszwecke. Bei diesem Datensatz wurde der

Abnutzungsgrad des aktuell verwendeten Werkzeugs klassifiziert (neu, leicht abgenutzt, stark abgenutzt und Austausch notwendig). Verfügbare Daten waren hierbei akustische Emissionen, auftretende Vibrationen und auftretende Spannungen an der Spindel. Der dritte Datensatz dokumentierte ebenfalls einen Fräsprozess, wobei klassifiziert wurde, ob ein Werkzeug verwendet wurde, welches bereits so abgenutzt ist, dass es ausgetauscht werden sollte, um die gewünschte Qualität zu erreichen. Verfügbare Daten waren auftretende Ströme und Spannungen, aktueller Vorschub und die jeweiligen Achsbeschleunigungen.

Um eine standardisierte Beobachtung realisieren zu können, mussten jedoch zuerst die Datensätze einheitlich verarbeitet werden. Dieser Prozess wurde angelehnt an den **CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining) Prozess** durchgeführt. Dieser iterative Prozess ist in Abbildung 1 dargestellt.

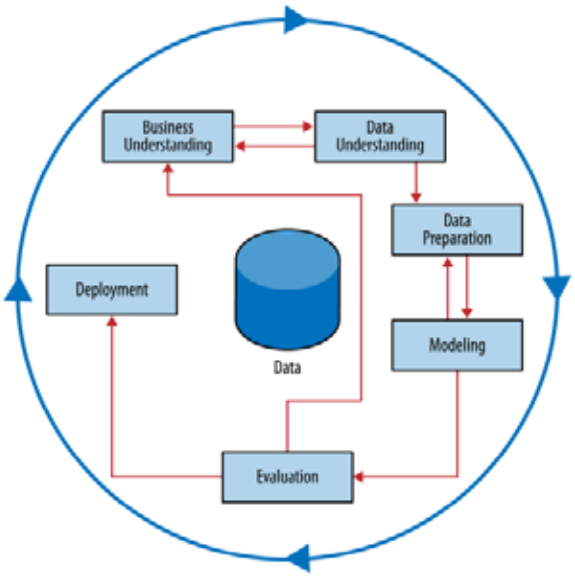


Abb. 1: CRISP-DM ([PRF13] S.27)

Das Datenverständnis, die Datenvorbereitung, die Modellerstellung und die Evaluierung wurden ebenfalls anhand des CRISP-DM durchgeführt, wodurch eine allgemeine standardisierte Beobachtung realisiert werden konnte. Ebenfalls wurden standardisierte Kennwerte zur Klassifikationsbewertung definiert, um die Evaluierung einheitlich durchführen zu können. Anschließend konnten die ausgewählten Algorithmen an den folgenden drei Datensätzen von Produktionsprozessen angelernt und ausgewertet werden.

5. ERGEBNISSE

AI4I-2020 Datensatz:
Hierbei konnten Vertrauenswahrscheinlichkeiten zur Fehlerprognose zwischen **97,06% und 98,23%** erreicht werden, wobei der Support-Vector Machine Algorithmus die höchste Vertrauenswahrscheinlichkeit von **98,23%** erreichen konnte.

NASA-Datensatz:
Bei der Untersuchung dieses Datensatzes konnten nur geringe Vertrauenswahrscheinlichkeiten zwischen **25% und 47%** erreicht werden, vermutlich aufgrund der sehr geringen Datenmenge. In diesem Anwendungsfall konnte der k-nearest-neighbor Algorithmus die höchste Vertrauenswahrscheinlichkeit von **47%** erreichen.

Wachsfräsprozess-Datensatz:
Für die Untersuchung der Werkzeugzustandsklassifikation konnten Vertrauenswahrscheinlichkeiten zwischen **77% und 99,98%** erreicht werden, wobei der Decision-Tree Algorithmus mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von **99,98%** ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erreichen konnte.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die ermittelten Algorithmen besitzen die Möglichkeit, sehr präzise und sichere Prognosen für verschiedene prädiktive Wartungskonzepte durchzuführen, wobei jedoch die erreichbare Prognosesicherheit der Algorithmen stark von der Struktur, Menge und Qualität der Datensätze abhängig ist. Die korrekte Vorbereitung und Umstrukturierung der Datensätze hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die Prognosesicherheit. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die untersuchten Implementationsansätze für ein prädiktives Wartungskonzept vielversprechende Ergebnisse erzielen können und für die jeweilige Implementation ein Algorithmus identifiziert werden konnte, welcher sich am ehesten für diese eignen könnte.

Weitere Untersuchen sind jedoch notwendig hinsichtlich der Implementation von Echtzeitanwendungen aufbauend auf den erlangten Erkenntnissen, sowie Untersuchungen wie auch kleinere Datenmengen wirksam untersucht werden könnten.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[CHP16] Chu, Li Ping (2016). Data Science for Modern Manufacturing. Sebastopol, USA. O'Reilly Media, Inc.

[CAP20] Carvalho, P., Thyago. Soares, A., A., M., N., Fabrizzio. Vita, Roberto. Francisco, da P., Roberto. Basto, P. Joao, Alcala, G., S., Symone (2019) A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Erschienen in Computer & Industrial Engineering. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106024

AUTOR

Markus Hinterecker, MSc.

FH Campus Wien, Favoritenstraße 226, 1100 Wien, markushinterecker4@gmail.com
FH Campus Wien High Tech Manufacturing - Bachelor
FH Campus Wien High Tech Manufacturing – Master
Aktuell tätig als Manufacturing and Operations Consultant bei Accenture für die DACH-Region

FACHHOCHSCHULE VORARLBERG: VITALPARAMETERERFASSUNG MIT FMCW-RADAR

Florian Kalb

Kurzfassung: *In diesem Paper wird die Erfassung von Vitalparametern mittels FMCW-Radars behandelt. Zwei Methoden stehen im Mittelpunkt der Betrachtung. Zunächst wird die klassische Signalverarbeitung erörtert, bei der mithilfe von Hoch- und Tiefpassfiltern sowie anschließender* Fast Fourier Transformation (FFT*) die Herz- und Atemfrequenz aus den Rohdaten extrahiert werden. Anschließend wird die Signalverarbeitung mittels Maschinelles Lernen (ML) und genauer einem Convolutional Neural Network (CNN) dargelegt. Der Aufbau des Modells und die Suche nach den optimalen Hyperparametern für die Verarbeitung von Radardaten wurden im Zuge dieser Arbeit durchgeführt. Nach dieser Vorarbeit wird das Netzwerk mit einem spezifischen Datensatz trainiert, welcher im Zuge dieser Arbeit entstanden ist. Beide Methoden sind in der Lage, die Vitalparameter aus den Radardaten zu ermitteln.*

Schlüsselwörter: *FMCW-Radar, Vitalparameter, Herzfrequenz, Atemfrequenz, Signalverarbeitung, maschinelles Lernen, CNN.*

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich intensiv mit der FMCW-Radar-Technologie und deren Einsatzmöglichkeiten in der Gesundheitsüberwachung, speziell bei der Kontrolle von Herzfrequenz und Atmung. Vor dem Hintergrund rasanter technologischer Fortschritte erlangt die nicht-invasive und kontinuierliche Überwachung von Vitalparametern immer mehr an Relevanz. Dabei bietet sie wertvolle Einblicke in den physiologischen Zustand eines Individuums. Ein zentrales Anliegen dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten auszuloten, wie traditionelle Methoden wie das Elektrokardiogramm (EKG) und der Pulsoximeter durch die Integration der FMCW-Radar-Technologie erweitert werden können. Im Speziellen wird das Potenzial des 60 GHz FMCW-Radars untersucht, vor allem hinsichtlich der genauen Erfassung von Herz- und Atemfrequenz und der Einbindung von ML zur Optimierung von Datenverarbeitung und -analyse. Ein Hauptfokus liegt auf der Evaluierung der Präzision dieser Technologie. Dabei wird insbesondere betrachtet, wie sich ein CNN-basierter Algorithmus im Vergleich zu konventionellen Signalverarbeitungstechniken hinsichtlich Genauigkeit und Zuverlässigkeit verhält.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

In diesem Abschnitt sind zunächst die Materialien aufgelistet, die in dieser Arbeit zum Einsatz kamen. Anschließend wird die theoretische Signalverarbeitung erläutert, mit welcher die Radardaten verarbeitet werden, um anschließend durch zwei Methoden ausgewertet zu werden.

3.1 Materialien

- Radar: V-MD3, RFbeam
- Pulsoximeter: FS20F, Wellue
- Programmiersprache: Python, 3.10
- Bibliotheken: Pytroch 2.0, Optuna 3.2

3.2 Radar und Grundlagen

Der FMCW-Radar (V-MD3) tastet seine Umgebung mit einer Frequenz von 100 Hz ab und stellt die erfassten Daten in Form einer Distanz-FFT über eine Ethernet-Schnittstelle zur Verfügung. Der Verarbeitungsprozess in Abb. 1 beginnt mit dem Aussenden eines Chirps und der Erzeugung des grünen Interferenzsignals, das mittels ADC digitalisiert wird. Anschließend wird dieses Signal mittels FFT in den Frequenzbereich transformiert und man erhält das Frequenzspektrum, welches mittels der Radar-Gleichungen in Distanzen umgerechnet werden kann.

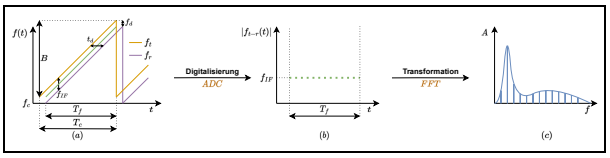


Abb. 1: Digitale Signaltransformation (Wang et al. 2021)

$$f_{IF} = \frac{\mathrm{B}}{T_c} \times \frac{2 \times d_0}{c_0}$$

Im Anschluss wird die Distanz-FFT in einem Ringspeicher gespeichert, und der Abstand zum Zielobjekt wird kontinuierlich verfolgt, um die Daten zu extrahieren und in die Phase umzuwandeln. Dazu wird jede komplexe Zahl von einem bestimmten Distanzwert im Array extrahiert und anschließend mittels Winkelbestimmung und Winkelkorrektur verarbeitet. Der Prozess wird symbolisch in Abb. 2 dargestellt. Das Ergebnis dient den beiden Methoden als Datenbasis.

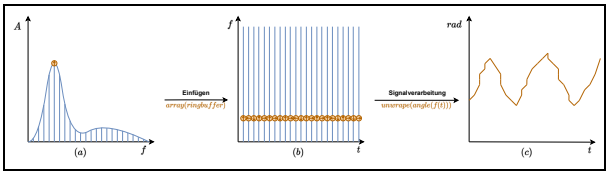


Abb. 2: Extraktion des Vitalparametersignals

3.3 Methode 1 - Klassische Signalverarbeitung

Nach der Extraktion der Phaseninformation aus den FMCW-Radar-Daten werden diese weiter durch Filter verarbeitet. Der Filterbereich für die Herzfrequenz liegt zwischen 0,8 Hz und 3,0 Hz. Für die Extraktion der Atemfrequenz werden ausschließlich Frequenzen unter 0,5 Hz verwendet. Nach der Filterung erfolgt eine Frequenzanalyse mittels FFT, bei der die dominante Frequenz ermittelt wird, wie in Abb. 3 dargestellt. Diese gibt Aufschluss über die Arbeitsfrequenz von Herz oder Lunge.

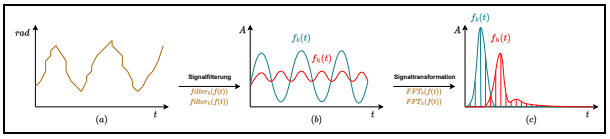


Abb. 3: Filtern und Transformationen (Wang et al. 2021)

3.4 Methode 2 - Signalverarbeitung mit CNN

Die Phaseninformation der FMCW-Radar-Daten dient als Grundlage zur Bestimmung der Vitalparameter. Das 1D-CNN wird unter Anwendung von Schichten für Faltung, Aktivierung, Normalisierung und Pooling aufgebaut. Durch diese Struktur können lokale Muster und Trends in den Daten effektiv erkannt und analysiert werden. Um das optimale Modell zu identifizieren, wurde ein dynamisches 1D-CNN entwickelt, das es ermöglicht, beliebig viele Schichten hinzuzufügen, wie in Abb. 4 dargestellt. Mithilfe der Hyperparameter-Optimierung kann dieses Modell so angepasst werden, dass es die Vitalparameter optimal erfasst und interpretiert.

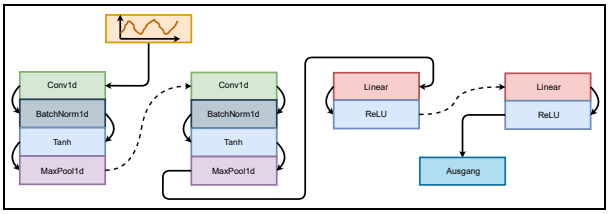


Abb. 4: Erweiterbares CNN-Modell (Choi et al. 2023).

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Der Testaufbau verlangte, dass Teilnehmer auf einem Stuhl mit stabiler Rückenlehne positioniert wurden und sich in einem Abstand von ca. 0,75 Metern vor dem Radar befanden. Für Referenzzwecke und zur Validierung der durch das Radar erfassten Daten wurden die Probanden zudem an ein Pulsoximeter angeschlossen. Die Datenerfassung wurde initiiert, sobald die Probanden eine bestimmte, zuvor festgelegte Position eingenommen hatten und alle relevanten Parameter eingestellt waren, wie in Abb. 5 dargestellt.

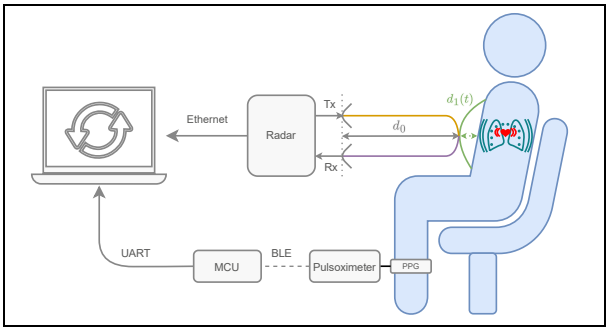


Abb. 5: Testaufbau

5. ERGEBNISSE

In dieser Studie wurden sowohl die klassische Signalverarbeitung als auch das CNN-basierte Verfahren zur Vitalparametererfassung untersucht. Es zeigte sich, dass die klassische Methode einen medianen Fehler zum Referenzwert von etwa 1,1 aufwies, während das ML-basierte Verfahren einen Fehler knapp über 1,0 hatte. Beide Methoden lieferten zuverlässige Resultate, wie in Abb. 6 dargestellt. Das CNN-Modell zeichnete sich jedoch durch höhere Genauigkeit aus. Dieses benötigt allerdings qualitativ hochwertige Trainingsdaten und erhebliche Rechenkapazitäten. Im Gegensatz dazu ist die klassische Signalverarbeitung robust und liefert ohne spezifische Trainingsdaten konsistente Ergebnisse.

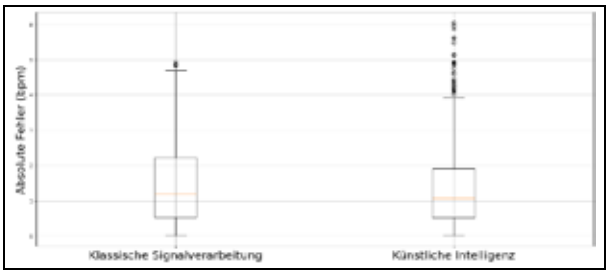


Abb. 6: Auswertung der Validierungsdaten

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Verwendung von FMCW-Radar-Sensoren zur Erfassung von Vitalparametern und beleuchtet dabei zwei zentrale Methoden: die klassische Signalverarbeitung und den Einsatz eines CNN. Beide Strategien vermögen Vitalparameter erfolgreich zu extrahieren bzw. vorherzusagen, wobei jede Herangehensweise eigene Herausforderungen und Forschungs- sowie Optimierungsbedarf mit sich bringt. Während die traditionelle Signalverarbeitung durch Implementierung eines Kalman-Filters aufgewertet werden könnte, besteht für CNNs Verbesserungspotential durch die Integration von LSTM-Netzwerken und K-Fold Cross-Validation. Obwohl beide Methoden vielversprechende Perspektiven für zukünftige Forschung bieten, insbesondere im Hinblick auf die Vorhersage unbekannter Daten durch das CNN, könnten sie durch zusätzliche Technologien und Methoden weiter optimiert werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Fengyu Wang and Xiaolu Zeng and Chenshu Wu and Beibei Wang and K. J. Ray Liu, 2021, mmHRV: Contactless Heart Rate Variability Monitoring Using Millimeter-Wave Radio, vol. 8, p. 16623-16636, IEEE Internet of Things Journal

S. H. Choi and H. Yoon, 2023, Convolutional neural networks for the real-time monitoring of vital signs based on impulse radio ultrawide-band radar during sleep, vol. 23, no. 6, p. 3116, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 1424-8220

AUTOR

Florian Kalb

RFbeam, Schuppisstrasse 7, +41 71 245 33 80, info@rfbeam.ch

2012.02-2015.04, Zumtobel Lighting, Techniker Qualitätssicherung, 2015.05-2016.09, Zumtobel Lighting, Techniker im operativem Beschwerdemanagement, 2013.09-2016.07, WIFI, Berufsreife, 2016.09-2018.07, TU-Wien, Elektrotechnik und Informationstechnik BSc, 2018.09-2021.09, FH-Vorarlberg, Mechatronik BSc

EMBEDDED REAL-TIME CHARGE CONTROLLER FOR LITHIUM-ION CELLS USING AN ELECTROCHEMICAL MODEL-BASED NON-LINEAR STATE OBSERVER

Kramser J.

Abstract: *Daily life would not be anymore possible without energy storage systems like batteries. Due to that reason it is such important to get the most out of batteries, which means, high currents but also many cycles as well as many different other parameters. One of this parameters is the charging speed. Common devices are able to have a fast charging mode. The problem of fast charging is, that the battery get damaged for each fast charging cycle. If the current is to high, lithium plating occurs, which results in capacity losses. To avoid that problem, this work focuses on an optimized charging algorithm, which is able to control this current such that less until no lithium plating can occur.*

Keywords: *Battery, Lithium Plating, Online Battery Charging, Embedded Controller, Electrochemical Model*

1. INTRODUCTION

Power storage systems are used in nearly every electrical device, which makes it so necessary to optimize the usage of this energy form. Different storage systems are used, like mechanical storage systems which stores the energy in form of potential energy, thermal storage systems, which stores the energy as heat or electrical storage systems, which directly store the energy as electricity (Ibrahim, et al., 2008). The last category is the chemical storage, which is the combination of the advantages from the other storage systems.

The chemical storage could be also distinguished for example in hydrogen storage or in battery storage systems. A hydrogen storage in combination with a fuel cell operates with a constant energy but have less dynamics. In comparison to that, a battery is able to exchange the chemical energy in a very fast way to electrical energy. This means the battery could provide high dynamic output currents.

This work focuses on battery storage systems since, these are the most common one, and have the most capability to provide high dynamic output currents but with enough energy over a longer time in comparison to an electrical storage like a capacitor.

2. PROBLEM DESCRIPTION

Every system has different forms of efficiency losses. For batteries, there are three main factors, which results in such losses. At first the standard aging, which is a chemical process over time, where active material is removed from the system. The second effect is stressing of the system, which results in heat. This heat results then again in aging effects or also in a thermal runaway, which means an unstoppable chemical reaction until the cell is broken.

The last one is one of the most harmful effect over time for batteries which is lithium plating (LP). LP occurs, when the input charging current is to high. Inside the battery, there are free movable lithium ions. Due to this high current, the attraction force at the anode electrode is such high, that the lithium ions comes directly in contact with the electrons, which forms solid lithium. This lithium is than plated on the electrode, which results in less active material, as well as less surface at the electrode.

To handle this problem, a controller has to be designed, which is able to charge the battery cell as fast as possible, but limiting the current to a value, where no LP occurs.

3. METHODOLOGY

The work is split into three main parts. Due to the fact, that to prevent LP, the needed parameter usually is not measurable, the first part focuses on an offline model of a battery, which is able to calculate that parameter. In that case a finite element simulation with the tool COMSOL is done for the cell type MJ1 INR18650, manufactured by LG. This simulation is used to design a controller, which handles the problem.

The second part aims to convert that offline model to an online model, used on a real hardware. For that, the controller, as well as the model are converted to a sampled control algorithm. This control algorithm is implemented in MATLAB as well as SIMULINK which brings the advantage to directly create simulations of the overall system. This is also done in combination with COMSOL, to adapt the parameters of the controller. Due to the fact, that model is not given as a simple mathematically equation, an iterative process is used, to define the best set of control parameters.

The last part is the embedded controller, which is implemented on an AURIX Starter Kit, a product of Infineon Austria AG. On this printed circuit board, an AURIX TriCore microcontroller is used, which operates as the master of the charging process. To measure the voltage of the battery, a TLE9012 is used, which also is manufactured by Infineon. With that components it is possible to use the final charging algorithm with the estimator for the needed parameter. To charge the battery, a simple sourcemeter is used, which is an easy device to force a current.

4. IMPLEMENTATION

To design the controller, different concepts are implemented and tested. The first idea was to use a so called „Diving Error Controller“. The problem with that controller is that, the controller works only very slow or gets unstable. To increase preformance, the so called „Summing Error Controller“ is introduced, which is able to cover most of the problems. To handle also some safety aspects and limits of used devices, a limitation is introduced which limits the input current for the charging process. Also to prevent effects like lithium vaporazation a dynamic gain reduction is introduced, which uses Equation 1, to reduce the gain of the anode potential gain controller.

$$gain(t + \Delta t) = gain(t)\left(1 - \frac{1}{Factor}\right) \qquad (1)$$

In the same manner, the anode potential controller gain is also enlarged with Equation 2.

$$gain(t + \Delta t) = \frac{gain(t) * Factor}{Factor - 1} \quad (2)$$

The final controller is called „Summing Error Controller with Limitation and with Dynamic Gain Reduction“ (SECL with DGR), which consists of following parts. At first the model itself, which is a discrete finite element model, containing the informations of the full cell voltage (FCV) as well as the anode potential (AP). The FCV is feed back and substracted from the destination voltage, which is 4.2 Volts. This result is then multiplied with a simple gain, called „Full Cell Controller Gain“. Also, the AP is feed back and substracted from the destination voltage, which is 0.02V, a tested value to prevent LP. This error is than passed threw a PID controller, to be more flexible and also be able to reach the full output. The output of this controller is then processed by the previous mentioned dynamic gain reduction, which only operates, when the FCV reaches the destination voltage. The output of this controller as well as the output of the FCV controller are substracted by each other and than passed threw an additional PID controller to increase the performance of the overall system. Afterwards, the output is mapped by a simple C-Rate to current map function, which is necessary to adapt the output to the used cell. This also makes the system more flexible. Only the function must be changed to use the controller at another battery type. The final controller could be seen in Figure 1.

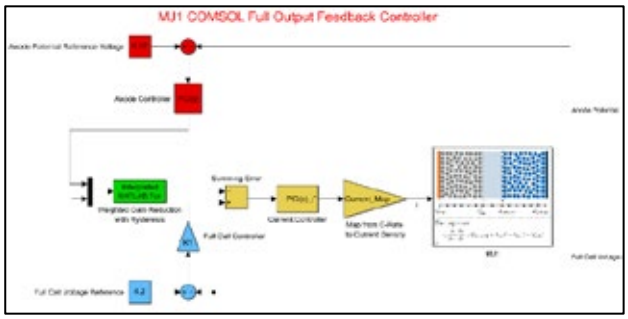


Figure 1: Summing Error Controller with Limitation and Dynamic Gain Reduction

5. RESULTS

With the SECL with DGR it was possible to show a big change of performance but without LP. This means the charging algorithm is able to charge the battery as fast as possible, but without destroying the battery. The voltage bahaviour of the charging process could be seen in Figure 2. With that algorithm it is possible to end in fast increase of the state of charge shown in Figure 3. Also the outgoing C-Rate and current density is shown in Figure 3. At least the estimated temperature of the charging process could be seen, but this parameter is less accurate and cannot be directly transferred to the real application, since the approximation is based on few parameters, necessary to calculate the AP.

Figure 2: Simulation output of FCV and AP of SECL and DGR

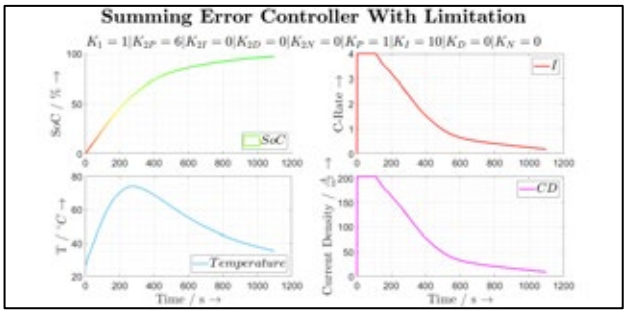


Figure 3: Simulation output of state of charge, C-Rate, approximated temperature and current density of SECL with DGR

6. CONCLUSION

As shown in this work, the SECL with DGR is able to provide a stable solution for the given problem. Since, this controller is only implemented on simulation area and also only the control algorithm is implemented on a microcontroller whereas the estimator is not converted to an embedded algorithm, the charging process was not able to be tested. For that also the AP estimator must be implemented such that, this output results in useful output related to the real battery cell. This would also be an advanced task, to implement the estimator and test the controller on a real battery, such that the stability of the system could be guaranteed and the advantages of this controller in comparison to other controller could be shown.

7. BIBLIOGRAPHY

Ibrahim H., Ilinca A. und Perron J. Energy storage systems - Characteristics and comparisons [Journal] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2008. - S. 1221-1250.

JOHANNES KRAMSER

Johannes Kramser

FH Kärnten, Europastraße 4, 9524 Villach, 05905007700, edukrajoh001@fh-kaernten.at

Graduated with a Master's degree in Systems Design with a specialization in Mechatronics. Prior to that, he completed a Bachelor's degree in Systems Engineering with a specialization in Mechatronics. Currently employed as Senior Engineer in the area of Wafer Test Development at Infineon Austria AG.

FH WELS: ELEKTRIFIZIERUNGSSTUDIE IM BAHNBAU AM BEISPIEL EINER BETTUNGSREINIGUNGSMASCHINE

Pervan, A.

Kurzfassung: *CO2-Neutralität, E-Mobilität oder Nachhaltigkeit sind Themen, die eine Energiewende einleiten und zur Entwicklung neuer, emissionsfreier Produkte motivieren sollen. Bisherige Arbeitsmaschinen setzen meist auf ein klassisches Antriebskonzept mit mindestens einem Dieselaggregat und mehreren hydraulischen Pumpe-Motor-Kombinationen. Durch die Leistungseruierung wird das Optimierungspotenzial des bestehenden Systems aufgezeigt, da nur rund die Hälfte der verfügbaren Leistung tatsächlich benötigt wird. Im Vergleich zum diesel-hydraulischen System offerieren elektrifizierte Antriebe und Aggregate einen um zirka acht Prozent besseren Wirkungsgrad. Durch den reduzierten Leistungsbedarf werden Alternativen im Hinblick auf Versorgungssysteme, wie z. B. Batterieeinheiten, geschaffen. Trotz technischer Umsetzungsmöglichkeit bestehen monetäre Nachteile, da die hohen Anschaffungskosten, abhängig vom verwendeten Konzept, bis zu mehreren Millionen betragen und somit einen enormen Preisaufschlag, im Vergleich zum derzeit angewandten System, bedeuten. Nichtsdestotrotz weist eine elektrifizierte Bettungsreinigungsmaschine nur ein Drittel der bestehenden laufenden Kosten auf, wodurch Einsparungen von mehreren tausend Euro pro Jahr möglich sind.*

1. EINLEITUNG

Plasser & Theurer (P&T) ist Marktführer im Bereich Bahnbaumaschinen und bietet durch innovative Lösungen Alleinstellungsmerkmale im Vergleich zur Konkurrenz. Durch aktuelle Themen wie CO2-Neutralität, Klimawandel und E-Mobilität werden Produkte benötigt, die diese Aspekte erfüllen. Primär besteht das Ziel darin, dass eine existierende Großmaschine dahingehend betrachtet, ob die benötigte mechanische bzw. hydraulische Leistung durch elektrische Alternativlösungen bereitgestellt werden kann. Die Vorgehensweise umfasst einerseits analytische Leistungsberechnungen der jeweiligen Komponenten und andererseits Literaturanalysen bzw. Experteninterviews, damit das vorhandene Knowhow sowie bisherige Erfahrungswerte verarbeitet werden können. Bei der Leistungsberechnung wird zwischen der tatsächlich installierten und der theoretisch notwendigen Leistung unterschieden, wobei die verfügbaren Leistungswerte dem aktuell verbauten System entsprechen.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Mittlerweile gibt es im Produktportfolio von P&T Maschinen, welche mit einer hybriden Antriebslösung ausgestattet sind und somit einen bisher neuen Ansatz verfolgen. Dennoch beinhaltet die Technologie einerseits das Problem, dass sie im Bahnbereich noch neu ist, und andererseits die Tatsache, dass bisher nur Standardmaschinen, d. h. Maschinen, die nicht im Verbund mit anderen Maschinen arbeiten, damit ausgerüstet worden sind. Um in Zukunft auch Großmaschinen, in diesem Fall eine Bettungsreinigungsmaschine mit einer (teil)elektrischen Antriebslösung anzubieten, benötigt es eine Untersuchung, welche die Elektrifizierungsmöglichkeiten eines solchen Prototyps betrachtet und die Grundlage für weitere Ansätze und Konzepte schafft. Dabei soll eruiert werden, ob sämtliche Aggregate elektrifiziert werden können und welches Potenzial in solchen Antrieben steckt. Des Weiteren sind die wirtschaftliche Vor- sowie Nachteile abzuwägen und resultierend daraus eine Aussage über das zukünftige Produktportfolio zu treffen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Allgemein betrachtet, kann die Gleisanlage in Ober- sowie Unterbau unterteilt werden. Der Oberbau setzt sich aus den Komponenten Schiene, Schwelle, Kleineisen, Schotterbett und Planum zusammen. Im Vergleich zur Schiene und Schwelle stellt der Schotteroberbau das schwächste Glied in der Kette dar. Durch Einwirken von Verkehrslasten wird das Schotterbett statisch sowie dynamisch belastet (Klotzinger 2008). Durch diese Belastungen splittern die Schotterkörner ab und werden durch Feinanteile ergänzt, weshalb das Schotterbett keine gleichmäßigen Lastaufnahmen gewährleisten. Ist ein definierter Feinteilgehalt im Schotterbett enthalten, benötigt es eine Schotterbettreinigung.

Grundsätzlich ist die Bettungsreinigungsmaschine für mehrere Aufgaben konzipiert, wobei die Gesamtsystem aus mehreren Aggregaten besteht. Die aktuelle Antriebstopologie besteht aus mindestens einem Dieselaggregat, welches das Pumpenverteilgetriebe antriebt. Das Getriebe versorgt einzelne hydraulische Pumpen, die wiederum diverse Hydraulikmotore bzw. die einzelnen Aggregate speisen. Allgemein betrachtet, kann man zwischen drei verschiedenen Arbeitsmodi unterscheiden. Beim Reinigungsmodus sind alle Aggregate und Antriebe aktiv und die Maschine bewegt sich mit geringer Geschwindigkeit, d. h. unter einem Kilometer pro Stunde, und im ersten Arbeitsgang am Gleis. Bei Totalaushub sind die Spezifikationen ähnlich wie beim Reinigen, jedoch ist das Vibrationssieb ausgeschaltet und der gesamte Aushub wird abtransportiert. Die Arbeitsfahrt im zweiten Arbeitsgang stellt den dritten Modus dar, bei welchem sämtliche Aggregate außer dem Fahrantrieb ausgeschaltet sind. Dafür bewegt sich die Maschine mit erhöhter Geschwindigkeit, d. h. mit zirka fünf Kilometer pro Stunde am Gleis.

Die aktuell installierte Pumpenleistung ist für die Dimensionierung der gesamten Bettungsreinigungsmaschine notwendig, da aus ihr die Auswahl für das Dieselaggregat erfolgt. Im weiteren Verlauf ist die daraus resultierende Leistungsaufstellung als Referenz für den Vergleich zur theoretisch notwendigen Leistungsaufstellung heranzuziehen. Die Berechnung der hydraulischen Komponenten zeigt die maximal mögliche Leistungsaufnahme des Systems.

Als Basis für die Elektrifizierung der Bettungsreinigungsmaschine sind jedoch die theoretisch benötigten Mindestleistungen relevant, weshalb hier, soweit es möglich ist, die Leistung auf Basis mechanischer Zusammenhänge und nicht anhand der verbauten Hydraulikkomponenten eruiert wird.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Anhand der theoretisch notwendigen Leistungsaufstellung ist die Erstellung diverser Maschinenkonzepte möglich. Beim Versorgungskonzept wird einerseits die Versorgung der Bettungsreinigungsmaschine über die Oberleitung bzw. den Fahrdraht und andererseits die Anbindung der Maschine an Batterien als Versorgungselement in Anbetracht gezogen. Versorgt man die Bettungsreinigungsmaschine durch elektrische Speicher, kommen nur lithiumbasierte Batterien in Betracht. Bei der Auslegung der Batteriekapazität ist es wirtschaftlich sinnvoll, dass eine genaue Dimensionierung der Batterie erfolgt, da der Preis pro Kilowattstunde bei zirka 1000 Euro liegt. Berücksichtigt man die theoretisch notwendige Maximalleistung, ergibt sich eine Gesamtkapazität von 3030 Kilowattstunden. In weiterer Folge ist erkennbar, dass für eine solche Kapazität die notwendige Ladeinfrastruktur, wie z.B. über die Oberleitung, bereitgestellt werden muss, da sonst Ladezeiten von zirka 100 Stunden zu erwarten sind.
Wird die Energie in Form von Wechselspannung aus der Oberleitung oder Gleichspannung aus der Batterie entnommen, sind weitere Komponenten, wie z. B. Transformatoren, Frequenzumrichter (FU) bzw. Multisystemumrichter notwendig. Der Multisystemumrichter fungiert als „Gehirn“ der Maschine und dient als Schnittstelle zwischen der Versorgung und den einzelnen Verbrauchern. Die Wechselspannung des Transformators wird auf eine geeignete Gleichspannung gleichgerichtet und diese als Versorgung für die einzelnen Frequenzumrichter der Verbraucher bereitgestellt.
Es ist notwendig, dass Getriebemotoren zum Einsatz kommen, weil einerseits hohe Drehmomente und andererseits niedrige Drehzahlen für die Funktionalitäten der einzelnen Aggregate gefordert sind.

Bei der aktuellen Bettungsreinigungsmaschine sind fast sechs Prozent des Maschinengesamtpreises für die Anschaffungskosten der Antriebs- und Hydraulikkomponenten notwendig. Die laufenden Kosten sind abhängig von der Betriebsdauer, jedoch ergeben diese bei Berücksichtigung der maximal verfügbaren Leistung Kosten von zirka 241 Euro pro Betriebsstunde. Für das Maschinenkonzept mit Oberleitungsbetrieb belaufen sich die Anschaffungskosten auf fünf Prozent des Maschinengesamtpreises für die Anschaffung der Oberleitungstopologie. Für den Oberleitungsbetrieb fallen laufende Kosten an, die mit 74 Euro pro Betriebsstunde ausfallen. Da die Batterie an sich sehr teuer ist und unter Annahme einer Kapazität von 3030 Kilowattstunden mindestens drei Millionen Euro kostet, entstehen enorme Anschaffungsaufwände. Wird die Batterie über die Oberleitung geladen, muss der Aufwand für die Oberleitungstopologie hinzuaddiert werden. Die laufenden Kosten sind identisch zu den Kosten bei reinem Oberleitungsbetrieb, wobei die maximale Batterielebensdauer theoretisch acht Jahre beträgt und somit weitere Kosten verursacht.

5. ERGEBNISSE

Vergleicht man die installierte, d. h. die maximal verfügbare Leistung anhand der Hydraulikkomponenten, und theoretisch notwendige Leistung, ergeben sich grobe Unterschiede.
Die Maximalkonfiguration der hydraulischen Komponenten liefert eine Pumpenleistungsaufnahme von fast 700 Kilowatt. Der Reinigungsmodus erfordert zirka 70 Prozent der maximal applizierten Leistung. Bei Totalaushub ist die Leistungsaufnahme um fünf Prozent geringer als beim Reinigen. Fährt die Maschine im zweiten Arbeitsgang bei ausgeschalteten Arbeitsaggregaten, beläuft sich die Leistungsaufnahme auf 20 Prozent der Maximalleistung.
Basierend auf den mechanischen Zusammenhängen ergibt sich eine theoretisch notwendige Leistungsaufnahme von zirka 340 Kilowatt in der Maximalkonfiguration der Bettungsreinigungsmaschine. Davon entfallen 81 Prozent auf den Reinigungsmodus, wobei bei Totalaushub 76 Prozent notwendig sind. Bei schnellem Fahren, d. h. Fahren im zweiten Arbeitsgang ohne aktivierte Arbeitsaggregate, bedeutet das eine notwendige Leistungsaufnahme von 19 Prozent der Maximalkonfiguration.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die zentrale Erkenntnis besteht darin, dass theoretisch nur die Hälfte der verfügbaren Leistung tatsächlich benötigt wird. Dabei ist zu erkennen, dass bisherige Antriebe oft überdimensioniert sind. Allgemein werden durch die Leistungseinsparung verschiedene Konzepte einer elektrifizierten Bettungsreinigungsmaschine im Hinblick auf das Versorgungssystem ermöglicht. Bei reinem Oberleitungsbetrieb sind die Anschaffungskosten geringer als beim diesel-hydraulischen System und die laufenden Kosten betragen zirka ein Drittel der bisherigen Aufwendungen. Bei Batteriebetrieb und Möglichkeit zum Laden über die Oberleitung ist der monetäre Vorteil in der Anschaffung nicht gegeben. Da eine hohe Summe investiert werden muss, ist auch die geringere Belastung durch laufende Kosten nicht relevant. Durch den (teilweise) monetären Vorteil ergibt eine elektrifizierte Bettungsreinigungsmaschine durchaus Sinn und sollte dementsprechend konzipiert und weiterverfolgt werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Klotzinger, E., 2008. Der Oberbauschotter: Teil 1: Anforderungen und Beanspruchung, pp. 34-36, Eisenbahntechnische Rundschau

AUTOR

Dipl.-Ing. Andrej Pervan, BSc

Plasser & Theurer GmbH, Estermannstraße 7, A-4020 Linz, Austria

2016: Abschluss der HTL Paul-Hahn-Straße für Elektrotechnik
seit 2017: Elektrokonstrukteur für Sondermaschinen und Prototypen (Abteilung FNUL-ET)
2023: Abschluss des Masterstudiums Mechatronik/Wirtschaft an der FH Wels

KONFERENZ DER MECHATRONIK-PLATTFORM FH Campus Wien, 20. November 2023

FH WELS: ANALYSE VON QUALITÄTSPARAMETERN AM SYSTEM GLEIS MIT EINEM DYNAMISCHEN GLEISSTABILISATOR ALS MESSSYSTEM

Pfeil D.

Kurzfassung: *Diese Arbeit behandelt die Instandhaltung von Gleisen, ein dynamisches System, das sich ständig verändert. Sie konzentriert sich auf die Verwendung eines dynamischen Gleisstabilisators (DGS) zur Verbesserung der Langzeitstabilität. Das Ziel ist es, Informationen über die Qualität der Schienenbefestigung während des DGS-Einsatzes abzuleiten. Hierzu werden hydraulische Drucksensorwerte analysiert. Die Arbeit zeigt, dass die Kreuzkorrelation dieser Werte wertvolle Einblicke in die Schienenqualität ermöglicht. Die Ergebnisse legen nahe, dass diese Methode zur Qualitätssicherung im Gleisbau eingesetzt werden kann.*

Schlüsselwörter: *Gleisinstandhaltung, Dynamischer Gleisstabilisator (DGS), Schienenbefestigung, Kreuzkorrelation.*

1. EINLEITUNG

Die Instandhaltung von Eisenbahngleisen ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit und Effizienz des Eisenbahnverkehrs. Ein kritischster Aspekt ist die Qualität der Schienenbefestigung auf den Schwellen, da diese direkt die Stabilität des gesamten Gleissystems beeinflusst. Aktuell gibt es jedoch keine effiziente Methode, um die Befestigungsqualität der Schienen automatisch zu ermitteln.

Diese Arbeit widmet sich genau diesem Problem und präsentiert eine innovative Lösung. Die herkömmlichen Prüfmethoden, wie Sichtkontrollen oder das Überprüfen von Schrauben mittels Drehmomentschlüssel, welche zeitaufwendig und unpraktisch sind, insbesondere wenn man bedenkt, dass jede einzelne Schwelle an mehreren Stellen überprüft werden müsste.

Die Motivation hinter dieser Arbeit liegt in der Konzepterprobung einer automatischen und wirtschaftlichen Methode zur Prüfung der Schienenbefestigungsqualität. Hierfür wird der dynamische Gleisstabilisator (DGS) der Firma Plasser & Theurer eingesetzt, um während des Arbeitsbetriebs relevante Daten zu sammeln und Rückschlüsse auf die Qualität der Schienenbefestigung zu ziehen.

Die innovative Natur dieser Arbeit liegt in der Integration einer bisher ungenutzten Methode zur Qualitätssicherung im Gleisbau, die nicht nur für Infrastrukturbetreiber, sondern auch für Forschungseinrichtungen von Interesse sein könnte. Diese Methode verspricht nicht nur eine verbesserte Instandhaltung der Gleise, sondern auch eine einfachere Integration in bestehende DGS-Aggregate.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Forschungsfragen, die in dieser Masterarbeit geklärt werden sollen, lauten:

1. Kann mittels entsprechender Auswertung gezielter horizontaler Reaktionskräfte eines DGS-Aggregates auf die Schienenbefestigungsqualität rückgeschlossen werden?

2. Kann mittels entsprechender Auswertung gezielter vertikaler Reaktionskräfte eines DGS-Aggregates auf die Schienenbefestigungsqualität rückgeschlossen werden?

3. Wie wirken sich maschinen- bzw. prozessspezifische Parameter auf das Ergebnis aus

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die vorgestellte Methode zielt darauf ab, die Qualität der Schienenbefestigung während des Betriebs eines dynamischen Gleisstabilisators (DGS) zu überwachen. Die Methodik umfasst folgende Schritte:

1. Schwingungserzeugung: Das DGS-Aggregat wird während des Betriebs verwendet, um Schwingungen in das Gleissystem zu übertragen. Dies geschieht durch die Rotation von definierten Unwuchtmassen.

2. Messung der Reaktionskräfte: Zur Messung der resultierenden Reaktionskräfte werden verschiedene Sensoren verwendet, insbesondere Drucksensoren zur Überwachung der Hydraulikdrücke in den Spreizzylindern und Auflastzylindern. Diese Sensoren sind spezifiziert und wurden entsprechend platziert, um relevante Daten zu erfassen.

3. Datenanalyse: Die gemessenen Daten, speziell die Hydraulikdrücke des vorderen und hinteren Spreizzylinders, werden mit entsprechenden Methoden analysiert. Dies ermöglicht die Identifizierung von Veränderungen und Unregelmäßigkeiten im Gesamtsystem, insbesondere in Bezug auf die Schienenbefestigungsqualität.

4. Versuchssetup: Für die Validierung der Methode wurden mehrere Versuche am Gleis durchgeführt. Hierbei wurde eine Arbeitsmaschine verwendet, die mit zwei DGS-Aggregaten mit fixen Unwuchtmassen ausgestattet war. Die Systemparameter wie Vibrationsfrequenz, Arbeitsgeschwindigkeit und Auflastdruck wurden in einigen Messungen verändert.

5. Sensorik und Datenerfassung: Die Sensoren, darunter Drucksensoren, Wegmessung und weitere wurden entsprechend platziert und an ein Messsystem angeschlossen. Dieses Messsystem ermöglichte die Erfassung und Speicherung der Daten.

6. Datenauswertung: Die erfassten Daten wurden offline auf einem Computer ausgewertet. Die genaue Vorgehensweise ist im nächsten Kapitel beschrieben.

Die detaillierte Beschreibung der verwendeten Sensoren, Geräte und Software, einschließlich Herstellerinformationen und Spezifikationen, ist der Masterarbeit zu entnehmen.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

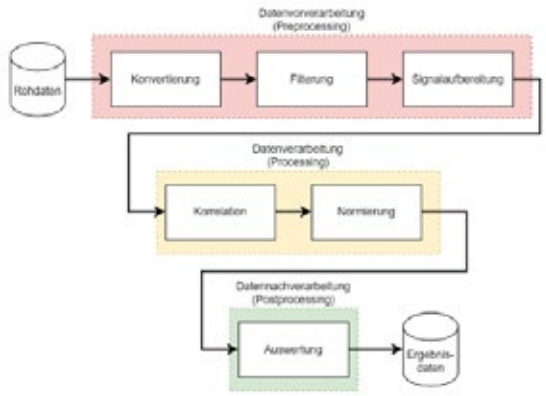


Abb. 1: Datenverarbeitungskette

Die praktische Durchführung der Datenauswertung der Spreizzylinderhydraulikdrücke laut Abb. 1 wurde wie folgt durchgeführt:

1. Datenformatkonvertierung: Die Rohdaten, die als proprietäre Dateien des Messsystems vorlagen, wurden für die Weiterverarbeitung in Python mit Hilfe von verschiedenen Bibliothek in Numpy-Arrays umgewandelt. Dadurch wurden die Daten in einem Format verfügbar, das für die weitere Analyse in Python geeignet ist.

2. Synchronisierung: Aufgrund von Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit unterschiedlichen Startpositionen war es nicht möglich, die Zeit als Referenz für den Vergleich der Messungen zu verwenden. Stattdessen wurde die absolute Maschinenposition über den gesamten Streckenabschnitt als Referenz verwendet.

3. Signalanpassung: Um die Signale konsistent miteinander zu vergleichen, wurde die Maschinenposition auf die benötigte Anzahl von Datenpunkten erhöht und linear auf die Spreizdrucksensoren angepasst. Dies ermöglichte eine sinnvolle Korrelation der Daten.

4. Druckumwandlung: Die analogen Druckmessungen wurden von Strom in Milliampere (mA) in Druck in bar umgewandelt, unter Verwendung einer linearen Funktion mit Skalierungsfaktor und Offsetwerten.

5. Signalfilterung: Zur Entfernung von statischen Signalanteilen und hochfrequenten Oberwellen wurde ein kaskadierter Bandpassfilter sechster Ordnung mit bestimmten Grenzfrequenzen verwendet.

6. Kreuzkorrelation: Die gefilterten Signale der vorderen und hinteren Spreizdrücke wurden mithilfe der normierten Kreuzkorrelation verglichen. Dies erfolgte in Abschnitten, indem ein bewegliches Fenster über die Daten verschoben wurde.

Die praktische Durchführung der Experimente und die Verarbeitung der Messdaten ermöglichten die Analyse und Identifizierung von Bereichen mit gelockerten Schienenbefestigungen.

5. ERGEBNISSE

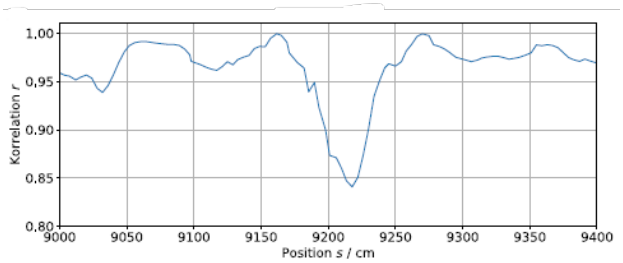


Abb. 2: Zeigt das Korrelationsergebnis des vorderen und hinteren Spreizzylinders in einem Streckenabschnitt mit gelockerten Schienenbefestigungen.

Die Datenauswertung zeigt, dass mittels entsprechender Auswertung der Spreizdrucke eines DGS-Aggregats gelockerte Schienenbefestigungen erkannt werden können, wie in Abb. 2 ersichtlich ist. Trotz dieser Ergebnisse sind weitere Versuche notwendig, um diese Methode zu validieren und weiter zu verbessern.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Masterarbeit präsentiert eine vielversprechende Methode zur Erkennung von lockeren Schienenbefestigungen mittels eines dynamischen Gleisstabilisators (DGS). Die Ergebnisse zeigen, dass die Methode funktioniert, aber weitere Tests und Optimierungen sind erforderlich. Zukünftige Forschung sollte Einflussfaktoren wie Querverschiebewiderstand und Unterstopfungsqualität berücksichtigen. Die Idee, die Methode in DGS-Maschinen zur Echtzeitüberwachung zu integrieren, wird diskutiert. Die Arbeit betont die Bedeutung von Forschung und Entwicklung, um die Methode robuster und effizienter zu gestalten. Trotz offener Fragen zeigt die Studie, dass die Methode eine solide Grundlage für die Anwendung in der Praxis darstellt und zur Verbesserung der Sicherheit im Eisenbahnverkehr beitragen kann.

AUTOR

Daniel Pfeil

Plasser & Theurer - Export von Bahnbaumaschinen GmbH & Fachhochschule Oberösterreich Campus Wels
Pummererstraße 5, 4021 Linz, Österreich, Tel.: +43 732 7666-0

2014 -2017 Bachelor Hardware Software Design – FH Hagenberg
2017 – 2019 Master Embedded Systems Design – FH Hagenberg
2021 – 2023 Master Robotic Systems Engineering – FH Wels

FRAMEWORK FÜR DIE ANALYSE VON HOCHDIMENSIONALEN DATEN AUS DEM PBF-LB/M PROZESS

Johannes Picker

Kurzfassung: *In dieser Arbeit wurde eine Software für die Verarbeitung von Schichtdaten aus dem Laserstrahlschmelz-Prozess (PBF-LB/M) entwickelt. Durch die große Menge an Daten die entsteht ist es schwer, Zusammenhänge oder Anomalien im Prozess zu erkennen. Mittels der Software kann eine einzige gesamtheitliche Darstellung des Prozesses erzielt werden. Eine vergangene Forschung hat sich mit dem Thema beschäftigt und es wurde festgestellt, dass durch die Anwendung eines dimensionsreduzierenden Algorithmus der Prozess besser abgebildet werden kann. In dieser Arbeit wurde der Code für die Verarbeitung der Messdaten überarbeitet, um eine breite Menge von Messdaten zu untersuchen. Die Überarbeitung umfasst eine graphische Benutzeröberfläche für das Starten von Funktionen, die Auswahl der Messdaten und der Festlegung von Berechnungsparametern. Unteranderem wurde eine Methode für die Transformation der Messdaten in eine geeignete Form für die Dimensionsreduktion entwickelt und weiters auch eine Rücktransformation in Schichtbilder aus den Ergebnissen der Dimensionsreduktion ermöglicht. Diese Methodik wurde mittels eines Datensatzes, bei dem Prozessparameter gezielt verändert wurden erfolgreich validiert.*

Schlüsselwörter: *Additive Fertigung, Datenverarbeitung, Dimensionsreduktion, Laserstrahlschmelzen (PBF-LB/M), Prozessoptimierung*

1. EINLEITUNG

Die additive Fertigung spielt aufgrund der hohen Gestaltungsfreiheit und der breiten Verfügbarkeit am Markt eine große Rolle. Der Prozess verläuft meist Schicht für Schicht, bis die gewünschte Bauteilgeometrie erreicht wird. Das Fertigungsverfahren des Laserstrahlschmelzen (engl. Laser Powder Bed Fusion) (PBF-LB/M) ermöglicht die Herstellung von hochkomplexen Geometrien, die konventionell kaum möglich sind. Ausgangsmaterial beim PBF-LB/M-Verfahren ist Metallpulver. [Godec et al. 2022]

Additiv gefertigte Bauteile unterliegen aufgrund vieler Prozesseinflüsse oft einer nachträglichen Qualitätsprüfung. Insbesondere in sicherheitsrelevanten Bauteilen für Luft- und Raumfahrt ist diese Prüfung unverzichtbar. Um den Anforderungen gerecht zu werden, werden Systeme entwickelt, um die Prozesswiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit zu verbessern. [Mahmoud et al. 2021]

Es gibt Ansätze der Prozessüberwachung, bei denen es jedoch schwer ist, klare "Regeln" für den Prozess zu definieren. Hierbei erfolgt lediglich eine Prüfung von fehlerfreien und fehlerhaften Bauteilen, jedoch ohne nähere Einsicht in den Grund für den Fehler.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Für die Prüfung der Genauigkeit und technischen Eigenschaften nach dem Druck werden kostenintensive Verfahren wie die Computertomographie (CT) verwendet. Um dies zu umgehen werden Messsysteme verwendet, welche den Prozess im Vorfeld bewerten.

Das in dieser Arbeit untersuchte Messsystem ist mit mehreren Sensoren ausgestattet und liefert unterschiedliche Darstellungen des Prozesses. Aufgrund der hohen Datenmenge ist es menschlich kaum möglich, Zusammenhänge aus den Messdaten herauszuziehen. Um diese Daten zu vereinfachen, wurde ein Framework entwickelt, in dem Anwender:innen mithilfe einer einzigen Darstellung ein Einblick in relevante Bereiche gewährt wird. Dadurch können Auffälligkeiten hervorgehoben und leichter erkennbar gemacht werden. Eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) in MATLAB® ermöglicht die Interaktion und umfasst das Einlesen der Messdaten, die Auswahl eines Interessensbereichs, die Dimensionsreduktion, die Ergebnisverarbeitung, die Rücktransformation in Schichtbilder und die Datenarchivierung.

Die Forschungsfragen der Arbeit betrafen die Erkennung von Prozessanomalien anhand der Daten, die Rolle der Dimensionsreduktion zur Bereitstellung von mehr Prozessinformationen und geeignete Methoden zur Rücktransformation.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Das Messystem liefert als Output Schichtbilder im TIFF-Format, dabei bilden die Pixel-Informationen in den Schichtbildern die aufgenommen Sensordaten ab. Die Anforderungen des Frameworks umfasst das Laden und Prozessieren der Schichtbilder. Schematisch kann das Framework in fünf Schritte unterteilt werden: Input, Pre-Processing, t-SNE, Clustering und Output.

Im Input können die Messdaten durch die Anwender:innen ausgewählt werden. Im Pre-Processing geschieht die Verarbeitung der Schichtbilder in eine geeignete Form für die weiteren Berechnungen. Für die Dimensionsreduktion wird die t-verteilte stochastische Nachbarschaftseinbettung (engl. t-distributed Stochastic Neighbor Embedding), kurz t-SNE verwendet. Der Aufbau einer t-SNE Eingangs-Matrix gestaltet sich als D×M Matrix, wobei D die Anzahl der Datenpunkte und M die Anzahl der Merkmale umfasst. Die Schichtbilder wurden so transformiert, dass die X-Y-Z Messpunkte als Datenpunkte fungieren und die gemessenen Sensordaten als Merkmale festgehalten werden. Durch diese Struktur ist die Durchführung der Dimensionsreduktion mit dem t-SNE Algorithmus möglich. Das Ergebnis umfasst ein Streudiagramm, in dem Ähnlichkeiten aus dem hochdimensionalen Raum als Punktegruppierungen gesehen werden können. Um aus der Streudiagramm-Darstellung auf Schichtbilder zu kommen, wurde der DBSCAN-Clustering Algorithmus angewendet, um Punktegruppierungen zu identifizieren. Die Identifizierung von den Gruppierungen hilft in der Diskretisierung von Bereichen in den Schichtbildern. Nachdem die Cluster gefunden wurden, werden diese verwendet, um die Schichtbilder einzufärben. Als Output liefert das Framework wiederum Schichtbilder im TIFF-Format.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Es wurde eine Software entwickelt, welche den gestellten Anforderungen entspricht. Es wurde ein GUI für Input, Pre-Processing, t-SNE, Clustering und Output entwickelt. Weiters wurden ein Interface für das Festlegen von Berechnungsparametern und das Visualisieren von Ergebnissen erreicht. Bei der Visualisierung der Ergebnisse wurde weiters eine 3D-Darstellung der Schichtbilder programmiert.

Für das Testen der Software wurde ein Druck-Datensatz untersucht, der aus dem FFG-Projekt „LBMCheck“ entstammt. Als Testkörper wurden quaderförmige Bauteile, welche in sechs Höhen-Bereiche unterteilt wurden, gedruckt. Pro Bereich wurden Prozessparameter, wie beispielsweise die Laserleistung des Druckers variiert. Eine Validierung des Frameworks geschieht, wenn diese Bereiche gesondert erkannt werden.

Für die Validierung wurden vier Darstellungen, die mit dem Messsystem erstellt wurden, mithilfe des Frameworks untersucht. Es wurden drei Höhen-Bereiche zu je 20 Schichten prozessiert. Um optimale Parameter für die Berechnung zu finden, wurde weiters eine Parameteroptimierung durchgeführt. Es wurde ein Durchlauf des Frameworks durchgeführt und die Schichtbilder exportiert.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Frameworks sind in Abb. 1 und Abb. 2 ersichtlich. In Abb. 1 ist das GUI für das Festlegen der Parameter der DBSCAN Funktion und den Export der Schichtbilder demonstriert. Links in der Abbildung ist das Ergebnis der t-SNE dargestellt, wobei die Erkennung der Bereiche durch die Clusteranalyse mit DBSCAN geschieht. Anhand dieser Bereiche werden die resultierenden Schichtbilder eingefärbt. In Abb. 2 ist das GUI für die Analyse der exportierten Bilder ersichtlich, auf der linken Seite ist ein Histogramm über die Cluster im Bau-Bereich dargestellt. Mit den darunterliegenden Messschiebern können Cluster weiters eingegrenzt werden, um Bereiche einzeln zu untersuchen. Rechts in der Abbildung ist die 3D-Visualiserung des Testkörpers dargestellt. Aus der Abbildung ist erkennbar, dass die drei Höhen-Bereiche klar voneinander getrennt sind, wodurch die Funktionalität des Frameworks validiert ist. Weiters sind auch Bereiche innerhalb der Schichten hervorgehoben.

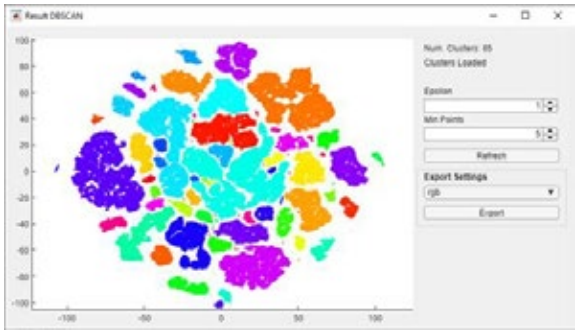


Abb. 1: GUI und Ergebnis der Clusteranalyse mit DBSCAN

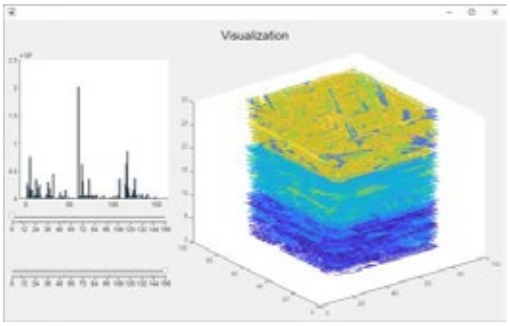


Abb. 2: GUI für die 3D-Visualisierung der Ergebnisse

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Masterarbeit hatte das Hauptziel, ein anwendbares Framework zur Analyse von Prozessdaten zu entwickeln. Die Gesamtziele wurden erreicht, darunter die Verbesserung der Prozessvisualisierung, die Erkennung von Prozessvariationen sowie die Schaffung eines nutzerfreundlichen Interfaces. Die Datenverarbeitung erfolgte über eine Pipeline mit t-SNE-Dimensionsreduktion und DBSCAN-Clustering. Die Rücktransformation der Daten aus der t-SNE-Darstellung wurde erfolgreich umgesetzt. Das Framework ermöglichte eine Abgrenzung von Prozessbereichen und gewährte tiefere Einblicke.

Das entwickelte Framework ermöglicht die Darstellung von Schichtbildern aus mehreren Kennwerten einer PBF-LB/M-Maschine, aufgenommen durch ein schichtbasiertes Messsystem. Es bietet Anwendungspotenzial zur Anomalie-Erkennung im Druckprozess und fördert das Verständnis des Prozesses durch die Vereinfachung großer Datenmengen und Identifikation von Mustern. Eine mögliche Erweiterung des Frameworks beinhaltet ein GUI zur Kombination von t-SNE-Ergebnissen mit 3D-Visualisierung, wodurch tiefere Einblicke in die Datenanalyse ermöglicht werden könnten. Es bildet eine Grundlage für die Visualisierung und Optimierung, mit Potenzial für Erweiterungen und Verbesserungen in zukünftiger Forschung.

Um anderen Anwendern:innen die Analyse zu ermöglichen ist der gesamte Quellcode der Software auf GitHub veröffentlicht unter:
https://github.com/JP4799/process_insight_framework

7. LITERATURVERZEICHNIS

Godec, Damir, Gonzalez-Gutierrez, Joamin, Nordin, Axel, Pei, Eujin und Ureña Alcázar, Julia(hrsg) (2022): *A Guide to Additive Manufacturing*, Cham, Springer International Publishing

Mahmoud, Dalia, Magolon, Marcin, Boer, Jan, Elbestawi, M. A. und Mohammadi, Mohammad Ghayoomi (2021): *Applications of Machine Learning in Process Monitoring and Controls of L-PBF Additive Manufacturing: A Review* In: Applied Sciences, Band 11, Ausgabe 24, DOI: 10.3390/app112411910.

AUTOR
Johannes Picker, BSc.

FH Wiener Neustadt, Johannes-Gutenberg-Straße 3, johannes.picker@outlook.com
2021-2023: Masterstudium Mechatronik, Spezialisierung „Additive Manufacturing“
2018-2021: Bachelorstudium High-Tech-Manufacturing, FH Campus Wien

FH WELS: BLITZPRICING

Josef Prinz BSc

Kurzfassung: *Das Paper zielt darauf ab, den Bepreisungsprozess bei TGW durch eine umfassende Analyse des BlitzPricing-Prinzips zu optimieren. Schwachstellen im aktuellen Prozess wurden identifiziert, insbesondere in Bezug auf manuellen Aufwand und Preisgenauigkeit.*

Ein automatisierter Importprozess wurde entworfen, um Daten nahtlos zwischen Systemen zu übertragen. Das innovative BlitzPricing-Prinzip wurde eingeführt, um die Bepreisung von Fördertechnikelementen zu automatisieren.

Das Paper untersucht die algorithmusbasierte Bepreisung im Vergleich zum aktuellen Prozess hinsichtlich Genauigkeit und Variabilität. Unterschiedliche Algorithmen wurden implementiert und verglichen, wobei die Ergebnisse zeigen, dass das BlitzPricing-Prinzip den manuellen Arbeitsaufwand reduziert, aber noch nicht die Genauigkeit des aktuellen Prozesses erreicht.

Zukünftige Forschung könnte sich auf fortgeschrittene Optimierung oder Algorithmenkombinationen konzentrieren.

Schlüsselwörter: *Prozessoptimierung, Machine-Learning, Artificial Intelligence, Data Science, Digitalisierung.*

1. EINLEITUNG

Das Unternehmen TGW ist in der Intralogistik als Systemintegrator im Anlagenbau tätig. Dabei fokussiert sich TGW auf den Bereich des einzelkundenorientierten Projektgeschäftes mit hoher Individualität im B-to-B2 Sektor.

In der Projektierung und im Vertrieb ist die Ermittlung der Herstellkosten hinsichtlich des Verkaufspreises und des erreichbaren Deckungsbeitrages von entscheidender Bedeutung, weil davon der Projekterfolg abhängt.

Bedingt durch das Branchenwachstum, das Unternehmenswachstum und den technischen Fortschritt hat sich die TGW vom reinen Komponentenlieferanten mit der Zeit zum kompletten Systemintegrator weiterentwickelt.

Dementsprechend bauen alle Kalkulationswerkzeuge auf den Komponenten auf, welche wiederum aus produktionstechnischen Gründen auf dem Baukastenprinzip beruhen.

Die Grundlage für diese Kalkulation bildet ein Layout, welches aus den jeweils einschlägigen Komponenten aufgebaut ist. Unabhängig davon ist die detaillierte Kostenbewertung ein hauptsächlich manueller Prozess, da einerseits das Layout bzw. die Komponenten im Layout sehr genau definiert werden müssen und andererseits die Datenübertragung bzw. Parametrisierung der Komponenten im Budget durch Angestellte erfolgt, obwohl diese im Layout schon definiert sind. Dies ist äußerst Zeit und somit kostenintensiv und zudem ein sehr monotoner, heikler und fehleranfälliger Prozess.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Deshalb stellen sich die Fragen, ob bzw. wenn ja, wo innerhalb des Prozesses der Bepreisung Potential zur Automatisierung liegt.

Zur Klärung dieses Forschungsziels wurden folgende Forschungsfragen definiert:

(1) Existieren Kennzahlen oder andere Methoden, die eine Preisberechnung für ein Laufmeterlayout ermöglichen? Wenn ja, wie genau sind diese und welche Vorteile/Nachteile ha-ben sie im Vergleich zu anderen Methoden?
(2) Inwiefern und wie genau kann aufgrund historischer Daten eine Preisberechnung für ein Laufmeterlayout durchgeführt werden? Welche Einschränkungen gibt es dabei?
(3) Welche Faktoren beeinflussen die Genauigkeit eines Bepreisungs-Algorithmus und welchen Genauigkeitsgrad weisen die verschiedenen zu untersuchenden Bepreisungs-Algorithmen auf?
(4) Ist die Integration von Künstlicher Intelligenz in diesem Einsatzgebiet empfehlenswert und welche Auswirkungen hätte sie auf die Preisberechnung?

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Es existieren bereits zwei kennzahlenbasierte Bepreisungsmethoden: einerseits die Laufmetermethode und die Beat-Methode.

Beide dieser Methoden haben den Nachteil, dass Erfahrung und/oder Projektkenntnisse not wendig sind, um zielführende Vergleichsprojekte zur Kennzahlenbildung heranzuziehen. Hat man dieses Wissen aber, so kann man mit den beiden bestehenden Methoden sehr gute Ergebnisse erzielen.

Diese Ergebnisse sind aber nur in den frühen Projektphasen bis hin zur Angebotsphase ausreichend genau. Ab diesem Zeitpunkt wird ein eigenes Kostenkalkulationstool verwendet.

4. BLITZPRICING PRINZIP

Der Grundgedanke des eines Bepreisungsalgorithmus liegt darin, den zeitaufwändigen Detaillierungsprozess in der Layouterstellung, die damit verbundenen Berechnungen, die zeitaufwändige, fehleranfällige und monotone manuelle Übertragung ins Kalkulationsprogramm sowie die darin notwendigen manuellen Anpassungen zu automatisieren.

Eine Teilaufgabe, nämlich die manuelle Übertragung eines FastPricing-Exportes hin ins Budget, übernimmt der Auto-Import. Der Auto-Import ist aber nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn ein detailliertes sowie fertiges Layout vorliegt.

Genau bei diesen Punkt sollen nun die Bepreisungsalgorithmen ansetzen, indem man sich nicht nur den manuellen Übertragungsprozessschritt erspart, sondern auch die aufwändige manuelle Berechnungs- und Detaillierungsphase in der Phase der Erstellung des detaillierten Layoutes, sowie die notwendigen manuellen Anpassungen im Budget.

Das würde bedeuten, die Laufmeter–Methoden auch für die Angebotsphase zu verwenden und erst bei einem Auftragsgewinn und der darauffolgenden Übergabe eine detaillierte Kalkulation durchzuführen.

In Summe werden fünf verschiedene mathematische bzw. statistische und somit deterministische Algorithmen sowie zwei verschiedene Machine-Learning Algorithmen beschrieben, untersucht und gegenübergestellt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Mit den derzeit vorhandenen historischen Daten können bereits Prognoseergebnisse erzielt werden, die eine algorithmusbasierte Bepreisung rechtfertigen. Einschränkend wirkt hierbei aber vor allem die vorhandene Datenbasis. Da aus den existierenden Tools nur Informationen bezüglich Kosten, Stückzahlen und Laufmetern ausgewertet werden können, können weitere Verfeinerungen und Unterscheidungen der Projekte nur mittels manuell gesammelter Soft-Facts erreicht werden.
Wie bereits erwähnt, ist der Faktor mit dem stärksten Einfluss auf die Preisgenauigkeit die vorhandene Datenbasis. Aber auch verschiedene Methoden in der Datenaufbereitung, wie beispielsweise Normierung oder Gruppierung, haben einen beachtlichen Einfluss. Der Einfluss der Soft-Facts auf die Preisgenauigkeit wurde als positiv, aber gering nachgewiesen. Die Genauigkeit lässt sich aber durch Hinzufügen weiterer Soft-Facts noch verbessern.

5. ERGEBNISSE

Die beiden bestehenden Methoden wurden aufgrund der Tatsache, dass Erfahrung und Projektkenntnisse notwendig sind, um sie sinnvoll anwenden zu können, ausgeschieden.
Die Ergebnisse der restlichen Methoden sind in Tabelle 1 dargestellt.

	Line-by-Line	Neuronale Netze	Random Forrest
Durchs. Abw.	2,64%	0,66%	-2,90%
Durchs. abs. Abw.	8,20%	8,28%	11,23%
Median	5,75%	-0,28%	1,71%
Std. - Abw.	8,87%	9,75%	13,91%

Tab. 1: Vergleich der Gesamtergebnisse (eigene Tabelle)

Beim Gesamtvergleich schneidet zwar die Line-by-Line Methode in Bezug auf de Varianzmetriken am besten ab. Allerdings ist sie auf die durchschnittliche Abweichung nicht ganz so genau, wie die Neuronalen Netze. Im Vergleich der beiden KI Methoden liefern die Neuronalen Netze ein besseres Ergebnis, da sie die Soft-Facts besser interpretieren.
Daraus folgt der Schluss, dass die Neuronalen Netze die insgesamt präferierte Methode zur Bepreisung von Fördertechnik darstellen. Diese Schlussfolgerung wird durch die Annahme verstärkt, dass die Prognosegenauigkeit mit zusätzlichen Soft-Facts noch steigen wird. Außerdem ist noch eine Verbesserung möglich, indem man das Training genau dann abbricht, wenn die Abweichungen minimal sind.
Nichtsdestoweniger sollten die beiden anderen Methoden nicht komplett verworfen werden. Vergleicht man das Prognoseergebnis der Neuronalen Netze im Anwendungsfall mit den Ergebnissen der anderen beiden Methoden, so kann man im Fall der Fälle Ausreißer oder schlechte Prognosen erkennen und dementsprechend darauf reagieren.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass KI basierten Methoden nur dann zu besseren Ergebnissen führt, wenn man die Metrik der durchschnittlichen Abweichungen als primären Erfolgsindikator definiert. Bei den Varianzmetriken liefern aber die nicht KI basierten Methoden bessere Ergebnisse, und dass ohne Einfluss von Soft-Facts.
Die wichtigste Metrik ist aber die Varianz. Begründet wird das dadurch, dass eine Methode mit niedriger durchschnittlicher Abweichung aber hoher Varianz zwar durchschnittlich gute Ergebnisse liefert. Jedoch schwanken diese Ergebnisse stark, was in der Folge zu hohe bzw zu niedrige Kostenberechnungen ergibt. Mit dieser Vorgehensweise gewinnt man aber tendenziell nur den Zugschlag zu jenen Projekten, bei denen zu wenig Kosten berechnet wurden. Diese Kosten kann das Unternehmen konsequenterweise auch nicht einhalten, wurden diese doch aufgrund der schwankenden Varianz zu niedrig angesetzt. Diese Vorgehensweise kann somit kein Ansatz für langfristiges, gewinnbringendes und nachhaltiges Wirtschaften sein.
Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die derzeit erreichte Preisgenauigkeit bereits sehr gut für die ersten Phasen eines Projektes passt. In diesen Phasen sind Unschärfen akzeptiert und werden transparent behandelt. Somit kann man dort genau die Starken von algorithmusbasierten Bepreisungsmethoden ausspielen, nämlich die schnelle und mit wenig Aufwand verbundene Bepreisung. Diese ermöglicht den schnellen Durchlauf von mehreren Konzepten, womit man mit weniger Aufwand schneller zu einem besseren Ergebnis gelangt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[1] Abadi, Martín, Ashish Agarwal, Paul Barham, Eugene Brevdo, Zhifeng Chen, Craig Citro, Greg S. Corrado, et al. 2015. "TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems." https://www.tensorflow.org/.

[2] Arnold, Dieter, and Kai Furmans. 2019. Materialfluss in Logistiksystemen. Springer Vieweg.

[3] Backhaus, Klaus, and Markus Voeth. 2015. Handbuch Business-to-Business-Marketing. Springer Fachmedien Wiesbaden.

AUTOR

Josef Prinz

TGW Systems Integration GmbH, Ludwig Szinicz Str. 3, 4614 Marchtrenk, +43 664 6218033, josef.prinz@tgw-group.com

Sporthauptschule, HTL 2 Linz Litec für Mechatronik. Herbst 2017 bei TGW ins Berufsleben gestartet. Frühjahr 2019 mit dem berufsbegleitenden Mechatronik/Wirtschaft Bachelorstudium begonnen. Seit Herbst 2021 Führungskraft bei TGW. 2023 das Mechatronik/Wirtschaft Masterstudium erfolgreich abgeschlossen

FACHHOCHSCHULE OBERÖSTERREICH CAMPUS WELS: METHODEN ZUR ROBUSTEN POSITIONIERUNG VON WERKSTÜCKEN MIT INDUSTRIEROBOTERN

STEFAN J.

Kurzfassung: *Die Masterarbeit widmet sich dem Themenbereich des präzisen Positionierens von Werkstücken durch Industrieroboter an automatisierten Werkzeugmaschinen. Die zentrale Zielsetzung besteht darin, die Anforderungen an die Werkstückpositionierung zu ermitteln, eine geeignete Berechnungsmethodik zu entwickeln und Strategien für die Handhabung der Werkstücke zu konzipieren. Ein weiteres wichtiges Ziel besteht in der Integration von KI-gestützter Roboterprogrammierung zur Verbesserung des Positionierungsprozesses. Die Schlussergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die gewünschte Präzision bei der Positionierung mithilfe der vorhandenen Sensorik, Robotik und KI-gestützten Software erreicht werden kann. Zudem konnte erfolgreich demonstriert werden, dass das Hantieren mit den Werkstücken durch KI-gestützte Programmierung realisiert werden kann. Diese Erkenntnisse tragen zur Optimierung des industriellen Fertigungsprozesses bei und bieten vielversprechende Perspektiven für die Zukunft.*

Schlüsselwörter: *Positionierungsstrategie, KI-gestützte Roboterprogrammierung, Kraft- Momentensensor*

1. EINLEITUNG

Die Masterarbeit widmet sich der Herausforderung des präzisen Positionierens von Werkstücken in automatisierten Werkzeugmaschinen durch den Einsatz von Industrierobotern. Diese Thematik ist von zentraler Bedeutung für die moderne Fertigungsindustrie und erfordert innovative Ansätze zur Lösung.

In der aktuellen Praxis zeigt sich, dass die Werkstückaufnahme mit der firmenspezifischen Handhabungs-vorrichtung nur eine Genauigkeit von etwa ±10 mm erreicht. Daher ist es notwendig, eine Methode an dem neuen Robotersystem zu entwickeln, mit der es möglich ist, die exakte Position der Werkstücke in den Positioniervorrichtungen zu bestimmen. Damit ist eine präzise Positionierung mit einer Genauigkeit von ±0,1 mm zu ermöglichen. Hierzu werden Strategien sowohl für die Positionsbestimmung als auch für den Positionierungsvorgang entwickelt. Zudem wird ein umfassendes Konzept für die Integration von KI-gestützter Roboterprogrammierung erarbeitet, um die Effizienz und Flexibilität der Werkstückhandhabung mit dem Robotersystem, zu steigern.

Die Motivation für diese Arbeit liegt darin, das Kontaktierungsproblem zu lösen und die Leistungsfähigkeit der KI-Technologie für die Industrierobotik auszuschöpfen. Dieser innovative Ansatz verspricht erhebliche Verbesserungen in der Fertigungsindustrie und zeigt das zukunftsweisende Potenzial der Forschung auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz auf.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Am Beginn dieser Untersuchung steht die grundlegende Fragestellung: Ist es möglich, die Positionierung von Werkstücken an automatisierten Werkzeugmaschinen mithilfe eines Standard-Industrieroboters, eines Kraft-Momentensensors und einer Handhabungsvorrichtung mit der geforderten Genauigkeit und Robustheit durchzuführen? Hierbei werden diverse firmenspezifische Parameter des Prozessschrittes auf der Werkzeugmaschine berücksichtigt und daraus Strategien für das Hantieren der Werkstücke abgeleitet. Die Anordnung der Komponenten kann der untenstehenden Skizze (Abb. 1) entnommen werden.

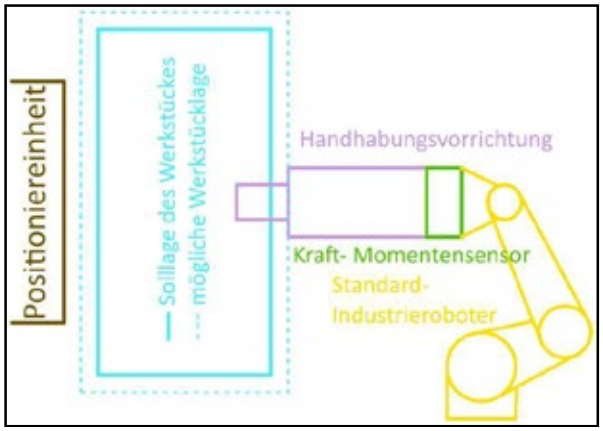


Abb. 1: Prinzipskizze der Positionierungssituation

Weitere Untersuchungen zielen darauf ab, die Implementierung der Strategien in ein KI-gestütztes Roboterprogrammiersystem zu beleuchten. Hierbei stehen Fragen im Fokus, die die Funktionalitäten des neuen Programmiersystems betreffen. Es wird dargestellt, wie der gesamte Prozess in die KI-gestützte Umgebung zu integrieren ist und insbesondere, wofür ein speziell entwickelter Strategiebaustein erforderlich sein wird.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zur Entwicklung der Strategien und Handhabungsvorgänge wurden umfassende Analysen des bestehenden Systems durchgeführt. Hierzu wurden Kollegen aus dem Unternehmen befragt, um ein tiefes Verständnis für die Funktionsweise der aktuellen Anlagen zu erhalten. Diese Informationen bildeten die Basis für die Entwicklung der erforderlichen Strategien und Prozessschritte.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmungsmethode wurde mithilfe einer Fehlerfortpflanzungsrechnung überprüft. Dabei wurden die Ungenauigkeiten der einzelnen Komponenten, die das Endergebnis beeinflussen, zusammengeführt. Dies ermöglichte die Ermittlung der erwarteten Gesamtgenauigkeit des Positionierungssystems.

Für die KI-gestützten Roboterprogrammierung kam die Software *Flowstate* von der Firma Intrinsic zum Einsatz. Obwohl sich diese Software noch im Beta-Stadium befindet, konnte sie in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen bereits genutzt werden. Die Nutzung erfolgte im Rahmen einer Kooperation, die es ermöglichte, von den innovativen Möglichkeiten der KI-Algorithmen in der Arbeit zu profitieren.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zu Beginn wurden die Anforderungen an die Kontaktierung umfassend erfasst. Dies diente als Grundlage für die Entwicklung geeigneter Strategien. Zusätzlich basierte die Konzeption der Strategien auf mathematischen und geometrischen Überlegungen und Berechnungen. Die Strategien wurden in Ablaufbäumen konkretisiert, die die einzelnen Schritte des Roboters verknüpften.

Zunächst wurde die Funktionalität der Software *Flowstate* getestet. Dies ermöglichte eine Bewertung der bereits vorhandenen Aufgaben, die das Programm übernehmen konnte. Die entwickelte Positionierungsstrategien können mittels vorprogrammierter Bausteine in das KI-gestützte Programmiersystem integriert werden. Diese sind skalierbar, parametrierbar und wiederverwendbar. Jedoch wurde festgestellt, dass der Schritt der Werkstückpositions-bestimmung nicht mit einem vorgefertigten Baustein durchführbar ist. Daher muss ein entsprechender Baustein selbst programmiert werden. Wie die Oberfläche der Software aussieht, wird in untenstehendem Screenshot (Abb. 2) gezeigt.

Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Software *Flowstate* und der damit verbundenen eingeschränkten Funktionalitäten konnte die vollständige Implementierung der Strategie im KI-gestützten Programmiersystem zum Zeitpunkt dieser Arbeit noch nicht abgeschlossen werden.

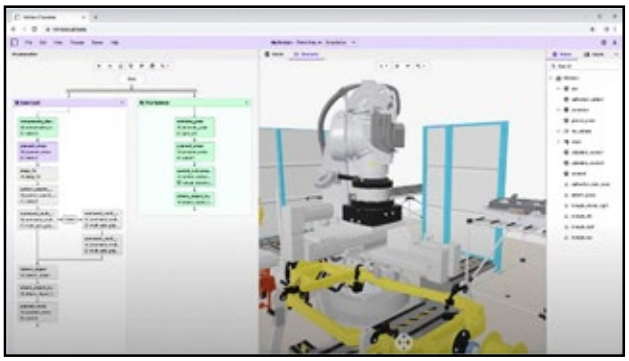


Abb. 2: Screenshot aus der KI-gestützten Roboterprogrammier-oberfläche *Flowstate* (Intrinsic Innovation LLC 2023)

5. ERGEBNISSE

Während der umfassenden Systemanalyse wurde festgestellt, dass nur wenige Parameter sowohl der Werkzeugmaschine als auch des Prozesses und den Werkstücken die Positionierungsstrategien differenzieren. Diese Erkenntnis bildete die Grundlage für die Entwicklung der Strategien zur robusten Positionierung der Werkstücke. Die neu entwickelten Vorgehensweisen beinhalten auch die Methode zur Bestimmung der Werkstückposition in der Handhabungs-vorrichtung. Dadurch ergibt sich eine Strategie, die sicherstellt, dass das Werkstück in optimaler Position zur Positioniervorrichtung steht und dadurch qualitativ verarbeitet werden kann.

Die entwickelten Strategien und Methoden wurden entsprechend aufbereitet, um in das KI-gestützte Roboterprogrammiersystem *Flowstate* von Intrinsic integriert zu werden. Dazu wurden die Strategien als Ablaufbäume dargestellt. In diesem Zusammenhang wurden bereits einige Implementierungen im KI-System vorgenommen, wobei zum Zeitpunkt dieser Arbeit die Implementierungen noch nicht vollständig fertiggestellt werden konnte. Aus den bereits umgesetzten Teilen kann man erkennen, dass die Software die Roboterprogrammierung reformieren wird. Ein wesentlicher Beitrag dazu ist, dass die Programmierung sehr einfach möglich ist und der Anwender sich dadurch auf die Aufgaben des Roboters konzentrieren kann, nicht aber auf die Planung der Pfade.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein komplexes Thema behandelt, nämlich die präzise Positionierung von Werkstücken. Durch eine umfassende Analyse und Entwicklung konnte eine neue Methode abgeleitet werden. Diese Methode ermöglicht die Positionierung von Werkstücken mithilfe eines Standard-Industrieroboters, eines Kraft-Momenten Sensors und einer speziellen Handhabungsvorrichtung, wobei die geforderte Qualität erreicht werden kann.

Des Weiteren wurden Konzepte entwickelt, um das Gesamtsystem in die KI-gestützte Roboterprogrammier-software *Flowstate* zu integrieren. Diese Integration ermöglicht eine effiziente Optimierung der Roboterpfade, was zu einer erheblichen Verbesserung des gesamten Produktionsablaufs führt. Die geplanten Pfade sind äußerst effizient und die Implementierung ist einfach wie bei sonst keinem Robotersystem.

Ein wichtiger Ausblick auf zukünftige Entwicklungen zeigt, dass die entwickelten Strategien und Konzepte in Kürze in die Praxis umgesetzt werden sollen. Dies wird es ermöglichen, die robusten Strategien zur Werkstückpositionierung an den Werkzeugmaschinen einzusetzen, um Produkte von höchster Qualität herzustellen.

Insgesamt liefert diese Arbeit nicht nur wertvolle Einblicke in die Positionierungstechnologie, sondern bietet auch klare Perspektiven für die Zukunft, in der die entwickelten Strategien und Konzepte in der Industrie zum Einsatz kommen und den Produktionsprozess entscheidend optimieren können.

7. QUELLENANGABE

Intrinsic Innovation LLC, 2023. Introducing Intrinsic Flowstate, *Available from:* https://www.youtube.com/watch?v=0aLVa7lbo2U *Accessed:* 2023-07-11

AUTOR

Jakob Stefan

FH Oberösterreich Campus Wels, Kattau 85, 3730 Meiseldorf, +43 664 5840745, jakobstefan@gmx.net

Ausbildung: HTL für Mechatronik (Schwerpunkt Automatisierungstechnik) in Karlstein an der Thaya (bis 2017) Bachelor- und Masterstudium Automatisierungstechnik an der FH Oberösterreich Campus Wels (2018 – 2023) diverse Praktika bei Unternehmen im Bereich der Entwicklung während der Schul- und Studienzeit

FH CAMPUS 02:
KI-GESTÜTZTE ZUSTANDSBEWERTUNG VON REFURBISHMENT-PRODUKTEN

Weingraber W.

Kurzfassung: *Das Start-Up ByeAgain GmbH beschäftigt sich mit dem Refurbishment von gebrauchten Kinderartikeln. Zu den Kernprozessen des Unternehmens zählt die preisliche Bewertung von eingereichten Artikeln. Die Wirtschaftlichkeit der ByeAgain GmbH hängt stark von der Optimierung der unternehmensinternen Prozesse ab. Aus diesem Grund wird im Zuge der Arbeit ein Konzept zur Automatisierung des Bewertungsprozesses entwickelt. Zudem wird dieser Prozess anhand eines realen Produkts durchlaufen.*

Die Automatisierung erfolgt über den Einsatz von künstlicher Intelligenz. Auf Basis der eingereichten Produktinformationen werden automatisiert Daten über das jeweilige Neuprodukt generiert. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz wird bestimmt, ob es sich bei den generierten Daten um den gesuchten Artikel handelt. Im Falle einer Übereinstimmung kann der Verkaufspreis des gebrauchten Artikels auf Basis des zuvor ermittelten Produktneupreises berechnet werden. Im Zuge dieser Arbeit wird der gesamte Prozess an einem konkreten Produkt umgesetzt und getestet.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, ob die Automatisierung des Bewertungsprozesses in der Praxis eingesetzt werden kann. Falls nötig, werden aus den Resultaten entsprechende Rahmenbedingungen und Richtlinien für die Anwendung der Prozessoptimierung abgeleitet.

Schlüsselwörter: *Künstliche Intelligenz (KI), Refurbishment, Start-Up, Kreislaufwirtschaft, Automatisierungstechnik*

1. EINLEITUNG

Die Folgen der globalen Klimakrise werden immer deutlicher spürbar. Gerade in Zeiten wie diesen ist es wichtig, einen schonenden Umgang mit Ressourcen an den Tag zu legen. Durch das Refurbishment von nicht mehr verwendeten Kinderartikeln schafft das Start-Up ByeAgain den Grundstein für eine nachhaltige Verwendung von gebrauchten Produkten und die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft. Um die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens langfristig sicherzustellen, ist die kontinuierliche Verbesserung von unternehmensinternen Prozessen nötig. Im Zuge dieser Arbeit erfolgt die Konzeptionierung und Umsetzung der Automatisierung des Bewertungsprozesses von gebrauchten Produkten, die auf der Website von ByeAgain eingereicht werden. Die entsprechende Optimierung des Ablaufs einer Produktbewertung wird über den Einsatz von künstlicher Intelligenz ermöglicht.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die grundlegende Aufgabenstellung dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Optimierung respektive Automatisierung des Bewertungsprozesses von gebrauchten Kinderartikeln. Durch die Optimierung dieses Prozesses beziehungsweise die Verkürzung der Prozesszeiten erwartet sich die ByeAgain GmbH eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens. Der automatisierte Prozess basiert auf dem Einsatz von künstlicher Intelligenz und wird anhand eines konkreten Produkts realisiert. Diese Arbeit liefert Erkenntnisse, ob die Automatisierung des Prozesses umsetzbar ist. Zudem werden entsprechende Rahmenbedingungen zur Umsetzung des Tools in der Praxis abgeleitet und aufgezeigt.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zur Erreichung der Ziele werden Grundlagen zu den Themen „Refurbishment“ und „Künstliche Intelligenz“ behandelt. In weiterer Folge wird die automatisierte Durchführung des zuvor beschriebenen Bewertungsprozesses konzeptioniert und an einem konkreten Testprodukt umgesetzt. Basierend auf dem aktuellen Prozess des Unternehmens wird der automatisierte Prozess wie folgt durchgeführt:

1.) Generierung Neuproduktdaten

Mit Hilfe der Produktbezeichnung, welche von der Kundin bzw. dem Kunden eingereicht wurde, wird eine automatisierte Suche nach Informationen zum Neuprodukt im Internet durchgeführt. Zu diesen Informationen zählen der Neupreis und ein Produktbild. Aus der Suche resultiert eine Vielzahl an Daten des Produkts von diversen Händlerinnen und Händlern. Hierbei ist der günstigste Neuproduktpreis aus den Angeboten der verschiedenen Anbieterinnen und Anbietern relevant.

2.) KI-Modell

Im nächsten Schritt wird überprüft, ob es sich bei dem Bild des eingereichten Produktes tatsächlich um das Produkt aus der Internetsuche handelt. Hierfür wird ein KI-Modell erstellt, welches mit den Produktbildern der Neuproduktsuche trainiert wird. Es folgt eine Überprüfung des eingereichten Produktbilds der Kundin bzw. des Kunden anhand des KI-Modells. Sofern das eingereichte Bild eine definierte Trefferquote des Modells überschreitet, handelt es sich um dasselbe Produkt wie in der Internetrecherche.

3.) Ermittlung Verkaufspreis

Im letzten Schritt wird der spätere Verkaufspreis des eingereichten Produkts ermittelt. Durch die beiden vorherigen Schritte ist der günstigste Neupreis von diversen Anbietern bekannt und es ist überprüft worden, ob es sich bei der Einreichung und den Daten der Internetrecherche um dasselbe Produkt handelt. Somit kann der Verkaufspreis im Online-Shop der ByeAgain GmbH mit Hilfe eines definierten Prozentsatzes des günstigsten Neupreises berechnet werden.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Im ersten Schritt werden relevante Produkt- und Trainingsdaten für das KI-Tool definiert. Zudem erfolgt die Konzeptionierung und Durchführung einer automatisierten Neuproduktsuche zur Generierung der Produktdaten. Anschließend wird auf Basis einer Analyse der am weitverbreitetsten Entwicklungsumgebungen für künstliche Intelligenz ein Framework ausgewählt, welches im weiteren Verlauf der Arbeit für die Erstellung eines KI-Modells herangezogen wird. Im nächsten Schritt wird das KI-Modell in der zuvor ausgewählten Entwicklungsumgebung aufgebaut und

mit den generierten Trainingsdaten befüllt. Es erfolgt die Klassifizierung der Daten, sowie das Training des Modells. Das trainierte KI-Modell wird daraufhin mittels definierter Datensätzen getestet. Anschließend erfolgt die Analyse respektive Auswertung der dokumentierten Testdaten. Aus den gewonnenen Informationen werden Maßnahmen zur Optimierung des Modells abgeleitet. Anschließend erfolgt die Implementierung dieser Maßnahmen in ein optimiertes KI-Modell. Das optimierte Modell durchläuft dieselben Schritte wie das initiale KI-Modell. Die Analyse dieses Modells endet erneut in der Ableitung von Erkenntnissen zur Machbarkeit respektive Umsetzbarkeit in der Praxis. Zudem erfolgt die Verifikation und Validierung des optimierten Modells anhand von zwei weiteren Produkten.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Automatisierung des Bewertungsprozesses von Gebrauchtprodukten durch die Anwendung dieser Technologie möglich ist. Die Machbarkeit der Optimierung ist von verschiedensten Einflussfaktoren abhängig. Zu den grundlegendsten Faktoren zählen die Qualität der Trainingsdaten, die Konfiguration des KI-Modells und die Ausführung der Testbilder. Aus den Analysen der einzelnen Datensätze zeigt sich, dass ein optimierter Trainingsdatensatz, der sich aus diversen Bildern der verschiedenen Plattformen zusammensetzt, benötigt wird. Die unterschiedlichen Konfigurationen des KI-Modells zeigen eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse bei steigender Menge an Trainingsdaten. Die Resultate des mit 40 Produktbildern trainierten Modells liegen um 12,7 Prozent höher als die Ergebnisse des 20 Bilder umfassenden Datensatzes. Über die Analyse der eingereichten Produktaufnahmen lassen sich diverse Parameter beziehungsweise Einflussfaktoren ableiten. Die Trefferquote des KI-Modells wird grundlegend vom Hintergrund und der Ansicht des eingereichten Bildes beeinflusst.

Die Machbarkeit der Prozessoptimierung steht in direktem Zusammenhang mit den Ergebnissen des KI-Modells. Aus dem optimierten KI-Modell zeigt sich, dass die Einreichung von Bildern auf weißem Hintergrund oder einem Hintergrund innerhalb eines geschlossenen Raumes zulässig ist. Diese Ableitung gilt für Bildansichten von oben, der Seite oder einer isometrischen Ansicht. Die durchschnittliche Trefferquote der eben genannten Konfigurationen liegt bei 97,6 Prozent, wodurch von einer erfolgreichen Erkennung des gewünschten Produkts ausgegangen werden kann. Um den automatisierten Prozess in die Praxis umzusetzen, müssen gewisse Rahmenbedingungen eingehalten werden. Zum einen ist eine entsprechende Qualität der Trainingsdaten des KI-Modells nötig. Das Konzept der Abfrage von Suchmaschinenergebnissen muss für den weiteren Anwendungsfall der Prozessoptimierung angepasst werden. Zum anderen wird den Kundinnen und Kunden eine Vorgabe zur Einreichung von Produktbildern gegeben. Die zuvor beschriebenen Hintergründe und Ansichten der Bilder sind zulässig, davon abweichende Produktaufnahmen werden nicht verarbeitet.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend ist die Automatisierung des Bewertungsprozesses durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz unter den aufgezeigten Rahmenbedingungen möglich. Die nächsten Schritte des Unternehmens liegen in der Umsetzung der aufgezeigten Verbesserungen und der Implementierung des entwickelten KI-Modells in den Unternehmensprozess. Durch die erfolgreiche Implementierung ist das Start-Up in der Lage, die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zu steigern und die große Unternehmensvision mit gesellschaftlichem Mehrwert in die Tat umzusetzen.

Diese Arbeit dient als Paradebeispiel dafür, wie durch den Einsatz von Automatisierungstechnik und neuster Technologie innovative Geschäftsmodelle in die Tat umgesetzt werden können. Zudem zeigt diese Arbeit, dass nachhaltige Entwicklungen und wirtschaftliche Erfolge, entgegen dem Glaube vieler Personen, nicht im Konflikt miteinander stehen müssen. Gerade die Entwicklungen und Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Automatisierungstechnik bieten große Potentiale für den Weg in Richtung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Gesellschaft – nun liegt es an uns, diese Potentiale zu nutzen!

7. LITERATURVERZEICHNIS

Buxmann P. & Schmidt H., 2019, *Künstliche Intelligenz: Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg*, Springer Gabler, ISBN 9783662575680, Berlin

Kreutzer R. & Sirrenberg M., 2019, *Künstliche Intelligenz: Grundlagen - Use-Cases - unternehmenseigene KI-Journey*, Springer Gabler, ISBN 9783658255619, Berlin

Münger A. 2021, *Kreislaufwirtschaft als Strategie der Zukunft: Nachhaltige Geschäftsmodelle entwickeln und umsetzen*, Haufe-Lexware, ISBN 9783648156223, Freiburg

Sonnet D., 2022, *Neuronale Netze kompakt: Vom Perceptron zum Deep Learning*, Springer Gabler, ISBN 9783658290818, Wiesbaden

Wennker P., 2020, *Künstliche Intelligenz in der Praxis: Anwendung in Unternehmen und Branchen*, Springer Gabler, ISBN 9783658304805, Wiesbaden

AUTOR

Dipl.-Ing. Wolfgang Weingraber, BSc

ByeAgain GmbH, Krenngraben 15, 8072 Fernitz-Mellach, +43 664 1356732, info@byeagain.at

seit 04/2022 ByeAgain GmbH, geschäftsführender Gesellschafter
07/2019 – 07/2023 SSI Schäfer Automation GmbH, Project Manager

seit 09/2022 FH CAMPUS 02 Graz, Masterstudium Innovationsmanagement
09/2021 - 03/2023 FH CAMPUS 02 Graz, Masterstudium Automatisierungstechnik-Wirtschaft

FH CAMPUS WIEN: OPTIMIERUNG EINES HIGHBACKS MIT DEM FOKUS AUF GITTERSTRUKTUREN FÜR DIE HERSTELLUNG MITTELS ADDITIVER FERTIGUNG

Matthias Weiss, MSc

Kurzfassung: *Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Optimierung des Highbacks einer Rear-Entry Snowboardbindung durch den Einsatz von Gitterstrukturen (lattice structures). Für diesen Optimierungsvorgang wurde das Programm Rhinoceros 7® mit dem Plugin Grasshopper® verwendet.*

Das Ziel war es, ein CAD-Modell zu entwickeln, welches mithilfe additiver Fertigung hergestellt werden kann. Als additives Fertigungsverfahren kam das selektive Lasersintern (SLS) zum Einsatz. Darüber hinaus sollte das Bauteil bezüglich Kenngrößen wie Gewicht, mechanischen Eigenschaften und Berechnungszeit bewertet werden.

Zur Optimierung der Methoden wurde das Hauptaugenmerk auf den Einsatz von Einheitszellen basierend auf Gitterstrukturen (strut-based lattice structures) gelegt. Diese Einheitszellen lassen sich über unterschiedliche Parameter definieren und variieren, um ihre Eigenschaften zu beeinflussen.

Um die Anforderungen an das Projekt besser einordnen zu können, wurden im ersten Teil der Arbeit die Grundlagen in den Bereichen Produktentwicklung, zellulare Strukturen und additiver Fertigung beschrieben.

Der zweite Teil behandelt die praktische Umsetzung von vier unterschiedlichen Optimierungsverfahren. Nach Herstellung der Highbacks wurden die mechanischen Eigenschaften nach „DIN ISO 14573 Snowboard-Schnallenbindungen für Softboots - Anforderungen und Prüfverfahren“ geprüft und bewertet.

Schlüsselwörter: *Bauteiloptimierung, Einheitszelle, Voronoi-Strukturen, Gitterstrukturen*

1. EINLEITUNG

Ein wichtiger Aspekt der heutigen Zeit ist das Ressourcenmanagement. Dabei geht es sowohl um den sorgsamen Einsatz von Rohstoffen als auch um Zeit, welche nicht endlos zur Verfügung steht. Das Schonen von Ressourcen ist jedoch nicht gleichbedeutend mit Verzicht oder Leistungsverlust. Ganz im Gegenteil, das Ziel ist es, die vorhandenen Materialen mit dem geringsten Zeitaufwand so zu verarbeiten, dass bessere Lösungen in jedem Bereich gefunden werden können. Dieser immer schneller voranschreitenden Wandel kann schon seit einigen Jahren in der Industrie beobachtet werden. Egal ob bei der Raumfahrt, in der Automobilindustrie oder auch in der Sporttechnik wird immer nach effizienteren Lösungen gestrebt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist das Einsparen von Gewicht und somit in direkter Folge von Ressourcen. Dies betrifft sowohl die Produktion als auch den täglichen Gebrauch. Als weitere zentrale Anforderung muss auch den mechanischen Beanspruchungen Rechnung getragen werden. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, hat sich der Leichtbau in der jüngeren Vergangenheit immer mehr von den in der Natur vorkommenden Strukturen inspirieren lassen [1]. Diese Geometrien wurden analysiert und mittels generativen Designs auf die entsprechende Anwendung umgelegt. Damit entstehen jedoch weitere Herausforderungen, die einerseits den Entwurf dieser Strukturen und andererseits deren Herstellung betreffen. Für den Entwurfs- und Konstruktionsprozess stehen seit geraumer Zeit CAD-Programme zur Verfügung, welche auch mit Hilfe von generativen Algorithmen in kurzer Zeit eine Vielzahl an unterschiedlichen Entwürfen erlauben. Bei der Herstellung steht mit der Additiven Fertigung eine Methode zur Verfügung, welche es erlaubt, komplexe Geometrien zu produzieren.

2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Mittels generativen Designs und Additiver Fertigung sollte das Highback einer Rear-Entry-Snowboardbindung in Bezug auf das Gewichts-Steifigkeitsverhältnis optimiert werden. Dafür wurde mit zellularen Gitterstrukturen gearbeitet, wobei ein besonderes Augenmerk auf gitterbasierten Einheitszellen sowie auf Voronoi-Strukturen lag. Um diese Strukturen zu erstellen, sollten Algorithmen entwickelt werden. In der Arbeit wird sowohl der Unterschied zwischen konformen und nicht-konformen Gitterstrukturen dargestellt und miteinander verglichen sowie der Vergleich zu Voronoi-Strukturen gezogen. Für die Beurteilung wurde das Gewicht sowie die mechanischen Eigenschaften nach DIN ISO 14573 „Snowboard-Schnallenbindungen für Softboots - Anforderungen und Prüfverfahren“ herangezogen.

3. MATERIALIEN UND METHODEN

Der Optimierungsprozess wurde mit dem Programm Rhinoceros 7® mit dem Plugin Grasshopper® durchgeführt. Außerdem wurden weitere Plugins wie *Intralattice* und *Crystallon* verwendet. Die Auswahl der Gitterstrukturen wurde von Hadi, Vignat und Villeneuve [2] und McMillan et al. [3] abgeleitet. Dabei werden die Einheitszellen anhand unterschiedlicher Parameter eingeteilt.

Bei der Gestaltung der einzelnen Einheitszelle wurden als Grundlage McMillan et al. [3] herangezogen. Die Erstellung der Voronoi-Strukturen unterlag den Einflussfaktoren nach Ashby [4]. Für die Herstellung mittels Additiver Fertigung kam die SLS-Maschine „EOS Formiga P110“ zum Einsatz. Bei der Gewichtsüberprüfung wurde die Waage „Dipse TP-500“ eingesetzt und die mechanischen Eigenschaften wurden mit einem eigens entwickeltem ISO-Normprüfungsgerät durchgeführt.

4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Zu Beginn wurde ein Designraum definiert, in welchem die Optimierungen mit unterschiedlichen Gitterstrukturen stattfinden. Anschließend wurden vier Algorithmen in Grasshopper® entwickelt, die den gewünschten (referenzierten) Bereich anhand festgelegter Parameter gestalten.

Diese Algorithmen generieren:

- Nicht-konforme Gitterstrukturen
- Konforme Gitterstrukturen
- 3D Voronoi-Strukturen
- 2D Voronoi-Strukturen

Jeder Algorithmus besteht aus einer Vielzahl an Funktionen, welche mittels unterschiedlicher Inputs gesteuert werden können. Sowohl die einzelnen Funktionen als auch die Inputs variieren, je nach Art der gewünschten Strukturen. Der grobe Ablauf eines Optimierungsvorganges mit Einheitszellen setzt sich aus folgenden vier Schritten zusammen: 1. Unterteilung der referenzierten Geometrie, 2. Ausfüllen mit Einheitszellen, 3. Trimmen der Einheitszellen, 4. Definition der Geometrie.

Ausgehend von dem Optimierungsbereich des Highbacks ergaben sich im Zuge der Masterarbeit vier, auf die Anwendung abgestimmte, Algorithmen.

Ein Ziel und enormer Vorteil bei jedem dieser Algorithmen ist es, diese auf unterschiedliche Bauteile anwenden zu können, indem die zu optimierende Geometrie importiert und der zu optimierende Bereich referenziert wird.

5. ERGEBNISSE

Es wurden vier Highbacks, welche mittels Algorithmen optimiert wurden, sowie das Ausgangsmodel mithilfe des selektiven Lasersintern hergestellt (Abb. 1).

Abb. 1: Ansicht der zusammengebauten Snowboardbindung inklusive Highback (Optimierungsbereich rot markiert), welches mittels SLS-Verfahrens gefertigt wurde, sowie die vier optimierten Ausschnitte.

Die größte Gewichtsreduktion im Optimierungsbereich konnte mit 76,7 % bei der 3D Voronoi-Struktur festgestellt werden (Tab. 1).

Für die mechanische Prüfung nach DIN ISO 14573 wurde der Test laut Norm bis 250 Nm durchgeführt. Um die Belastung zu steigern, wurde der Testablauf zusätzlich mit einer Last bis 400 Nm durchgeführt. Alle vier Highbacks haben die Prüfung nach Norm und darüber hinaus schadlos bestanden.

Des Weiteren wurde ein Feldtest zur Beurteilung der optimierten Strukturen unter realen Bedingungen auf der Piste durchgeführt. Auch dieser Feldtest verlief ohne jegliche Beschädigung und somit erfolgreich.

Bauteilversion	Gewicht [g]	Gewichtseinsparung [%]
Ausgangsbauteil	12,9	-
Nicht-konforme Gitterstruktur	4,1	68,2
Konforme Gitterstruktur	5,7	55,8
3D Voronoi-Struktur	3,0	76,7
2D Voronoi-Struktur	7,0	45,7

Tab. 1: Vergleich des Gewichts und der prozentuellen Einsparung des zu optimierenden Bereichs zwischen den verschieden Highbacks.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Anwendung der Algorithmen auf die Optimierung des Highbacks war in allen vier Ausführungen erfolgreich und weist eine deutliche Gewichtsreduktion auf, ohne die mechanischen Eigenschaften zu minimieren. Dabei lassen sich diese Algorithmen mit geringem Aufwand auf weitere und unterschiedliche Bauteile anwenden, wodurch Gewichts- und Zeiteinsparungen erreicht werden können.

Somit bekommt die Methode des generativen Designs einen immer größeren Stellenwert in der Industrie, was sich auch durch das rasante Wachstum der Anwendungsbereiche widerspiegelt. Im Bereich der Massentauglichkeit solcher Strukturen gibt es jedoch in der Herstellung mittels Spritzgussverfahrens noch Grenzen, welche durch den Einsatz innovativer Lösungen im Bereich der Additiven Fertigung behoben werden können. Bei Einzelanfertigungen ist schon jetzt sehr gut zu sehen, wie diese Technologien in der Entwicklung neuer Produkte weiterhelfen können. In Zukunft wird auch das Zusammenspiel von „Künstlicher Intelligenz“ und generativem Design immer bedeutender.

7. LITERATURVERZEICHNIS

[1] L. J. Gibson, „Cellular Solids“, *MRS Bull.*, Bd. 28, Nr. 4, S. 270–274, Apr. 2003, doi: 10.1557/mrs2003.79.
[2] A. Hadi, F. Vignat, und F. Villeneuve, „Design Configurations and Creation of Lattice Structures for Metallic Additive Manufacturing“, 2015.
[3] M. McMillan, M. Jurg, M. Leary, und M. Brandt, „Programmatic Lattice Generation for Additive Manufacture“, *Procedia Technology*, Bd. 20, S. 178–184, 2015, doi: 10.1016/j.protcy.2015.07.029.
[4] M. F. Ashby, „The properties of foams and lattices“, *Phil. Trans. R. Soc. A.*, Bd. 364, Nr. 1838, S. 15–30, Jän. 2006, doi: 10.1098/rsta.2005.1678.

AUTOR

Matthias Weiss, MSc
FH Campus Wien, +43 660 46 48 710, matthias.weiss@alumini.fh-campuswien.ac.at

2023 Master of Science: High Tech Manufacturing - FH Campus Wien;
2019 Bachelor of Science: Sports Equipment Technology - FH Technikum Wien;
2014 Reife- und Diplomprüfung: Abteilung für Holztechnik - HTL Mödling;
seit 2019 SP United Vertriebs GmbH - Abteilung: Entwicklung und Konstruktion

Nominierungen

Beste Absolvent*innen-Karriere

FH CAMPUS WIEN: BEWERBUNG BESTE ABSOLVENTENKARRIERE
Lukas Haider BSc MSc

Kurzfassung:
Nach einer Karriere im kaufmännischen Bereich und zuletzt im Bankensektor begann Lukas Haider an der FH Campus Wien im Bachelorstudiengang High Tech Manufacturing zu studieren, welchen er im Jahr 2018 erfolgreich abschloss. Anschließend absolvierte er den Masterstudiengang Green Mobility im selben Haus und verschaffte sich so eine fundierte technisch/wirtschaftliche Ausbildung. Der weitere berufliche Weg führte ihn in die Elektromobilität, wo er direkt nach dem Studium bei Wien Energie als Business Development Manager einstieg. Nach zwei Jahren Wien Energie wurde er von der W.E.B. Gruppe aus dem Waldviertel zum Geschäftsführer der hauseigenen Ladeinfrastrukturtochter Ella GmbH & Co KG berufen, wo er seither den Ausbau und die Weiterentwicklung des Ladegeschäfts der W.E.B. Gruppe vorantreibt.

1. EINLEITUNG

Meine berufliche Karriere begann mit der Lehre zum EDV-Kaufmann im Einzelhandel. Die solide Kenntnis kaufmännischer Sachverhalte eröffnete mir verschiedene Stationen im Einzel— und Großhandel in den Anfangsjahren meiner beruflichen Laufbahn. Bald begann ich mich mit Lehrgängen berufsbegleitend an der Wirtschaftsuniversität Wien und am Wifi Wien weiterzubilden. Nach einigen Jahren im Handelssektor führte es mich in die Finanzdienstleistung. Ich startete im Bereich der Finanzierung bei der spanischen Großbank Santander. Im weiteren Verlauf meiner Tätigkeit im Finanzbereich hatte ich bei der Raiffeisenbank Tulln eGen die Gelegenheit, fast 5 Jahre als Bankstellenleiter zu arbeiten. Meine Hauptaufgabe war es, eine Filiale, welche vor der Schließung stand, mit einem kleinen Team neu aufzubauen. Diese Position ermöglichte es mir, ein tiefgehendes Verständnis für Finanzmanagement, Kundenbeziehungen und die Dynamik des Bankwesens zu entwickeln. Als meine erste Führungsposition war es eine prägende Zeit, in der ich wertvolle Fähigkeiten und Kenntnisse erwarb.

2. DIE ZEIT DES STUDIUMS AN DER FH CAMPUS WIEN

Mein Interesse an Technik, insbesondere an Automatisierung, führte mich an die FH Campus Wien. Der Studiengang High-Tech-Manufacturing bot aus meiner Sicht ideale Voraussetzungen, um mich für meine weitere berufliche Zukunft vorzubereiten. Schon im ersten Studienjahr trat ich dem Os.car Racing Team bei, dem Formula Student Team der FH Campus Wien. Dort übernahm ich Verantwortung für verschiedene Aufgaben, ehe ich das Team in der Saison 2017/2018 als organisatorischer Leiter verließ, um eine Stelle in der Kommunikation im Department Technik an der FH anzutreten. Im Rahmen meiner Bachelorarbeit untersuchte ich einen Ansatz zur automatisierten und insbesondere kostengünstigen Messung der Stammwürze bei der Herstellung von Bier. Neben dem Studium machte ich mich zudem als IT-Techniker selbstständig und machte damit ein Hobby zum Beruf.

Nach Abschluss des Bachelorstudiums führte ich meine akademische Ausbildung im Masterstudiengang Green Mobility, ebenfalls an der FH Campus Wien, weiter. Als Projekt neben dem Studium durfte ich am ersten elektrifizierten Prototyp des Formula Student Teams mitwirken. Im Zuge der Masterarbeit erforschte ich die Auswirkungen von automatisiert parkenden Fahrzeugen auf die Stadt- und Verkehrsplanung. Den größten Teil der Studienzeit engagierte ich mich in der Studienvertretung und übernahm Verantwortung als einer von zwei Studienrichtungsvertretern für die technischen Studiengänge.

3. NACH DEM STUDIUM

Direkt nach dem Masterstudium startete ich im Bereich E-Mobilität bei Wien Energie als Business Development Manager. Dort arbeitete ich an der Weiterentwicklung des Serviceangebots der Wien Energie im Bereich der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Wesentliche Bereiche waren digitale Dienstleistungen, wie die Verbesserung des Angebots der Kreditkartenzahlung, diverse Initiativen zur Erweiterung des Produktangebots und die Analyse der Ladeinfrastrukturdaten. Auch durfte ich an einigen wegbereitenden Regulierungen für E-Mobilität als Fachexperte mitwirken.

Die Berufung zum Geschäftsführer der Ella GmbH & Co KG erfolgte ebenfalls auf Basis vorgenannter Fähigkeiten. Weiters waren Vertriebs- und Führungserfahrung ausschlaggebend. Dort trage ich heute die alleinige Verantwortung für das Ladeinfrastrukturgeschäft der W.E.B Gruppe, welches ich mit meinem Team Ella vorantreibe. Wir arbeiten an einem österreichweiten Schnellladenetz und bereiten die weitere Expansion vor. Parallel obliegt mir die Verhandlung strategischer Partnerschaften, um das Wachstum zusätzlich anzukurbeln. Abseits meines Berufslebens bin ich verheiratet und Vater von zwei Söhnen.

LUKAS HAIDER

Lukas Haider, BSc MSc

Ella GmbH & Co KG, Davidstraße 3,
Tel.: +43 664 78891275, lukas.haider@ella.at

seit 2022 Geschäftsführer Ella GmbH & Co KG
2020 – 2022 Business Development Manager Wien Energie GmbH
2015 – 2020 Bachelor- und Masterstudium an der FH Campus Wien
2011 – 2015 Bankstellenleiter Raiffeisenbank Tulln eGen

FH DORNBIRN: BEWERBUNG IN DER KATEGORIE PRÄMIERUNG BESTE ALUMNI KARRIERE

Hannes Juen

Kurzfassung: *Als Absolvent des Studienganges Fertigungsautomatisierung erhielt Hannes Juen die Chance bei der Vorarlberger Kraftwerke AG (kurz VKW) in die Abteilung Energiewirtschaft einzusteigen. Dort wurde er zum zertifizierten Stromhändler an der österreichischen und deutschen Strombörse. Aufgrund der erlernten Programmierkenntnisse konnte Hannes den Kraftwerksbetrieb aller Kraftwerke der VKW automatisieren und beim Projekt Kopskraftwerk ebenfalls die Einsatzplanung automatisieren sowie bei der Simulation des Kraftwerkes mitwirken. Nach dieser spannenden Zeit bekam Hannes die Möglichkeit bei Leica Geosystems AG in die Abteilung Quality Management einzutreten. Hier wurden ihm die Begleitung der Projekte, welche sich mit Implementierung von Funksystemen in die Vermessungsgeräte beschäftigen, übertragen. Hier war es besonders wichtig sich über die Themen Normen, Gesetze und die Implementierung und Zulassung der Produkte für die weltweiten Märkte zu koordinieren. Im Jahre 2010 wurde ihm die Teamleitung für den Bereich Quality Engineering übertragen. Das Team begleitet alle Innovations und Lifecycle Projekte bei Leica Geosystems für die Qualitätsthemen und die Koordination aller Produkt Compliance Themen. Mit der Übernahme von Leica Geosystem durch Hexagon AB wurde der Bereich auf eine globale Zuständigkeit erweitert. Dadurch kamen die gesamten Produktionsstandorte, R&D Standorte und Sales Offices in die Verantwortung des neuen Bereichs Global Quality Engineering. Aufgrund der Parallelen zu den Themen Quality Management, Environmental, Health & Safety wurden auch diese Aufgaben global an Hannes Juen übergeben. Das neueste zusätzliche Betätigungsfeld von Hannes Juen befasst sich mit dem Thema Software Compliance (z.B. ISO27001, SOC2, Open Source Licences, Cyber Security, IT Security, ...) welches für die Zukunft immer wichtiger werden wird.*

Schlüsselwörter: *Softwareprogrammierung, Software Compliance, Quality Management, Product Compliance.*

1. AUSBILDUNG

Als ich mich im Jahre 1997 für ein Studium im Bereich Fertigungsautomatisierung an der FH Vorarlberg in Dornbirn entschied, konnte ich mir nicht vorstellen welche Türen mir das später eröffnen würde. Es war einerseits die Nähe zur Technik und andererseits aber auch die Nähe zur Industrie, die mich zu dieser Entscheidung brachten. Während der Anstellung bei der VKW AG konnte ich die Ausbildung zum Stromhändler an den Strombörsen Österreichs und Deutschlands machen. Das half mir auch, die Prozesse für den Bereich Kraftwerkseinsatzplanung und daraus resultierend die Unterdeckung bzw. den Überschuss an der Börse zu handeln, zu automatisieren. Innerhalb von Leica Geosystems bzw. Hexagon wurden sehr viele interne Weiterbildungen angeboten und realisiert. Hier wurde der Schwerpunkt vor allem auf die Führungsmethoden und interkulturellen Aspekte abgedeckt. Des Weiteren durfte ich die gesamte Ausbildung für ISO9001 und ISO14001 durchlaufen und damit die Grundlagen für die Implementierung eines globalen ISO-Zertifikates für die Hexagon Geosystems (Anmerkung: Ist eine Division von Hexagon und entspricht ca. 40% des gesamten Hexagon Konzerns) zu schaffen. Aufgrund der globalen Verantwortung und der immer wachsenden Zuständigkeitsbereiche entschied ich mich im November 2022 ein MBA-Studium an der FH Burgenland zu starten mit dem Schwerpunkt International Business und Management. Das wird mich noch für die nächsten Monate begleiten.

2. BERUFLICHE LAUFBAHN

Nach dem Abschluss des Studienganges Fertigungsautomatisierung kam ich als erste Station in der beruflichen Laufbahn zur Vorarlberger Kraftwerke AG. Dort war ich in der Abteilung Energiewirtschaft mit Software-Programmierung beschäftigt. Ich durfte den Prozess der Einsatzplanung der Wasserkraftwerke automatisieren und vereinfachen. Weiters wurde zu der Zeit auch der Stromhandel an der deutschen und österreichischen Strombörse eingeführt. Hier konnte ich ebenfalls den Prozess mitbegleiten, die Ausbildung zum zertifizierten Stromhändler machen und auch diesen Prozess Software unterstützt implementieren. Hier war die Aufgabe, nachdem die Einsatzplanung der Kraftwerke abgearbeitet war, den Stromüberschuss bzw. den Strombedarf an der Börse abzudecken. In dieser Zeit bei der VKW AG konnte ich mit einer sehr unkonventionellen Programmiersprache (Blackbox) sehr viel an Automatisierung und Vereinfachung der Prozesse erreichen.

Nach dieser spannenden Zeit bei der VKW AG bekam ich bei Leica Geosystems AG in Heerbrugg eine neue Herausforderung angeboten. Ich kam als Quereinsteiger in das Qualitätsmanagement und wurde in den Entwicklungsprojekten als Quality Manager eingesetzt. Zur damaligen Zeit war das Quality Management immer mit dem negativen Ruf behaftet, Übermittler schlechter Nachrichten oder Verhinderer zu sein. Diesen Ruf wollte ich natürlich verbessern und bearbeitet die Entwicklungsprojekte als aktives Mitglied und konnte mein technisches Wissen einbringen. Aufgrund meiner Ausbildung an der HTL Innsbruck in Nachrichtentechnik mit dem anschliessenden Studium an der FH Vorarlberg konnte ich bei der Implementierung von Funksystemen in die Vermessungsinstrumente von Beginn an mitwirken und diese Projekte zu einem positiven Abschluss bringen. Aus diesem Grund wurde ich dann auch 2009 zum Teamleiter für das Quality Engineering Team bestellt. Das Team befasste sich mit der Umsetzung von Entwicklungsprojekten und auch mit den Themen aus dem Lifecycle. Marktreklamationen und Probleme in unseren Produktionen wurden ebenso betreut wie die neue Generation an Total Stationen oder Laser Scannern. 2005 wurde Leica Geosystems von Hexagon, einem schwedischen Konzern, übernommen. Die Eingliederung in den Konzern hat bis 2012 gedauert und da wurde meine Abteilung global ausgebaut. Damit wurde das Global Quality Engineering mit der Zuständigkeit Product-, Material- und Substance-Compliance etabliert. Hier wurde dann der gesamte Prozess für die Umsetzung der gesetzlichen Landkarte analysiert und

neu aufgesetzt. Hier war die Zusammenarbeit mit den globalen Teams und den unterschiedlichen Disziplinen nötig. Diese Compliance Themen haben Einfluss in den gesamten Lebenszyklus des Produktes und der verwendeten Materialien. Weiters haben wir erkannt, dass die neuen Regularien auch Einfluss auf die Bereiche Umwelt, Arbeitssicherheit und Gesundheit haben. Daher wurde die Zuständigkeit ausgeweitet und ab 2016 wurde das Team zu Global Quality Engineering QM & EHS benannt. Ab 2016 betreuten wir ca. 9500 Mitarbeitende weltweit verteilt in ca. 60 Lokationen. Nachdem die ersten News über COVID19 berichteten, wurde uns schnell klar (Anmerkung: Hexagon Geosystems hat eine Produktion in Wuhan, China), dass wir hier einen globalen Krisenstab aufsetzen müssen, der unsere Mitarbeitenden in den Lokationen mit Informationen und Massnahmen versorgt. Hier wurde ich zum globalen Krisenmanager ernannt und konnte nun mit den Lokationen und den Supporteinheiten (wie HR, IT…) diese Themen bearbeiten und Massnahmen in Absprache mit unserem Top Management umsetzen. Durch die schnelle Reaktion und das Einsetzen des Krisenstabes konnten wir sehr rasch auf die sich dauernd ändernden Bedingungen reagieren und gewährleisteten so ein möglichst optimales Umfeld für unsere Mitarbeitenden.

Seit 2020 arbeite ich nun an der Implementierung eines weiteren Compliance Themas – der Software Compliance oder Governance. Dieses Thema wurde als erstes durch die Verwendung von Open Source Software Lizenzen präsent und hat sich in den letzten Jahren massiv erweitert. Durch die Vernetzung und die Cloud Systeme bekommt das Thema SW Compliance oder Cyber Security einen viel höheren Stellenwert. Hier wurden die ersten Lokationen und Produkte bereits nach ISO27001 zertifiziert und viele Lokationen sind in der Umsetzung. Weiters werden wir auch länderspezifische Anforderungen wie SOC2 aus USA oder Britsh Cyber Security Act aus UK oder China Cyber Security Law implementieren und ausrollen.

Was mich zusammenfassend ein wenig nachdenklich stimmt ist die Situation, dass aus einer Kontinentalen / Regionen Gesetzeslandkarte eine Länderlandkarte wird. Jedes Land, selbst innerhalb der EU (Verpackungsrichtlinie aus Italien…) oder innerhalb von USA (California Proposition 51…), erstellt seine eigenen Anforderungen und erschweren damit den ganzen globalen Playern den Marktzugang. Da bin ich gespannt, wie sich dieses Thema in den nächsten Jahren weiter entwickeln wird.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ich glaube, dass das erworbene technische Grundwissen, die schnelle Auffassungsgabe und die erlernten Methoden und Verfahren für meine berufliche Laufbahn sehr entscheidend waren. Durch diese Ausbildung kann ich mit den anderen Disziplinen, wie Entwicklung oder IT, auf einer hohen Ebene mitdiskutieren und damit auch in den Entscheidungsprozess eingebunden werden. Dies hat mir ermöglicht an vielen Themen mitzuarbeiten und auch für viele Themengebiete die Verantwortung und die Weiterentwicklung bzw. die Implementierung zu übernehmen. Ich habe mich dazu bereit erklärt an der Ausschreibung teilzunehmen, da ich glaube, dass mein Werdegang motivierend für weitere FH Absolventen und -innen sein kann, indem sie sehen, was alles möglich ist mit dem notwendigen Interesse und einem entsprechenden Engagement gepaart mit der technischen Grundausbildung.

HANNES JUEN

Hannes Juen DI (FH)

Leica Geosystems AG, part of Hexagon, Heinrich Wild Strasse, CH-9435 Heebrrugg, +41 71 727 3098, Hannes.juen@hexagon.com

1997 – 2001 Diplomstudium an der FH - Vorarlberg (Fertigungsautomatisierung)
2022 – jetzt MBA-Studium an der FH Burgenland, Business Management

2001 – 2005 Vorarlberger Kraftwerke AG, Energiewirtschaft
2005 – 2009 Leica Geosystems AG, Qualitätsmanager
2009 – 2012 Leica Geosystems AG, Teamleiter Quality Engineering
2012 – 2016 Leica Geosystems AG, Manager Global Quality Engineering QM & EHS, ca. 3000 MA
Ab 2016 Hexagon Geosystems, Director Global Quality Engineering QM & EHS, ca. 9500 MA

BERUFLICHER WERDEGANG VON WALTER RIEGER, ABSOLVENT DER FH CAMPUS 02 GRAZ AUTOMATISIERUNGSTECHNIK 2004 UND 2008

Kurzfassung: *„Neu denken ist zu wenig – man muss auch neu handeln. Denn wer neu handelt, ist immer der Gewinner."*
Ich bin überzeugt davon, dass nicht das Anfangen belohnt wird, sondern einzig und allein das Durchhalten, der Glaube an die eigenen Ideen und deren konsequente Umsetzung. Diesem Leitgedanken folgend habe ich das Unternehmen NET-Automation GmbH im Jahr 2007 gegründet. Von Beginn an waren technologische Lösungen, die am Markt noch nicht verfügbar waren, unsere Triebfeder. In der NET-Automation haben wir dazu ein Team von High-Tech Spezialisten aufgebaut, um alle notwendigen Entwicklungsschritte für neue Technologien eigenständig umzusetzen.

Speziell im Bereich der Digitalisierung sind daraus Patente entstanden, die unsere Marktposition sichern und als Sprungbrett für weitere innovative Produkte dienen.

Nach ersten erfolgreichen Lancierungen im In- und Ausland erhielten wir für das Produkt ForceBEE Bremskraftmessung den ERCI Innovation Award als „Bestes europäisches KMU". Der renommierte Preis wird von der European Railway Clusters Initiative (ERCI) verliehen, die 16 Eisenbahncluster aus 17 europäischen Ländern vereint. Die Einreichungen werden von einer europäischen Jury unabhängiger Eisenbahnexperten aus Industrie, Forschung und öffentlichen Institutionen bewertet.

Im November 2023 beziehen wir unseren neuen Produktionsstandort im Gewerbepark St. Peter ob Judenburg, was nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ einen Meilenstein unserer Unternehmensentwicklung darstellt.

1. LEBENSLAUF

Nach meinem Lehrabschluss als Maschinenbauschlosser und Betriebselektriker habe ich für die Firma Sandvik Mining and Construction weltweit Bergbaumaschinen untertage in Betrieb genommen und serviciert. Nach meiner Rückkehr nach Österreich wollte ich mich fachlich weiterentwickeln und entschied mich für einen zweiten Bildungsweg an der HTL Kapfenberg im Bereich Mess- und Regeltechnik. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Ausbildung bin ich zu Sandvik zurückgekehrt, um die Programmierung der Funktionalitäten von Bergbaumaschinen zu übernehmen.

2004 habe ich das berufsbegleitende Diplomstudium Automatisierungstechnik an der FH CAMPUS 02 begonnen und dieses im Jahr 2008 mit der Abschlussarbeit „Einführung eines Qualitätsmanagementsystems in ein Kleinstunternehmen" abgeschlossen. 2010 habe ich ebenfalls an der FH CAMPUS 02 den Masterstudiengang Automatisierungstechnik-Wirtschaft mit der Abschlussarbeit „Auswahl eines Prozessleitsystems unter Berücksichtigung des ökonomischen Prinzips" finalisiert.

Zum damaligen Zeitpunkt waren beide Themen von zentraler Bedeutung für die Gründung der NET-Automation 2007. Um mein neues Unternehmen erfolgreich zu führen und zur optimalen strategischen Ausrichtung war ein Qualitätsmanagementsystem eine Grundvoraussetzung. Noch vor dem Industrie 4.0 Zeitalter haben wir uns bereits mit den Vorteilen und Rahmenbedingungen umfassender Digitalisierung befasst – dies war mein zweiter Themenschwerpunkt.

2. ENTSTEHUNGSGESCHICHTE DER IOT HARD- UND SOFTWARE NETBEE

Spätestens mit Beginn des Industrie 4.0 - Zeitalters war mir klar, dass Optimierungsmaßnahmen nicht nur für die Industrie relevant sind. Außerhalb der Industrie, im sogenannten „Daten Offshorebereich", fehlte es jedoch an geeigneten Hardwarelösungen für die Datenanbindung.

Unser erster IoT Use Case war die Gülleausbringung, für die eine geeignete Hardware entwickelt wurde. Diese stellt dem Nutzfahrzeugbediener anhand von Berechnungsdaten Sollwerte zur Vermeidung einer Überdüngung zur Verfügung. Weiters werden GPS-Daten der Ausbringungsmengen erfasst, wodurch ein Flächenkataster mit farblicher Kennzeichnung des Qualitätsstandards der Ausbringung erstellt werden kann.

Geringfügige Änderungen zogen umfangreiche Eingriffe an der Hardware, Firmware und Cloudapplikation nach sich. Das war die Geburtsstunde der NETBEE Technologie – einem modularen System, das nach dem Baukastenprinzip unterschiedlichste Anforderungen anwenderunabhängig erfüllen kann.

3. NETBEE USE CASES

- Autarke IoT Umweltstationen: Feinstaub PM10, Feinstaub PM2.5, Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, CO2, Lärm
- IoT Straßendiagnose: Berührungslose Detektion von Schnee, Nässe und Eis
- Schneehöhenmessung
- Pegelstandsmessung und Warnung vor Murenabgängen bzw. Bodenfeuchtemessung
- IoT Beleuchtungssteuerung für öffentliche Beleuchtungssysteme
- Monitoring der Frost- und Tauwettersperre
- Digitalisierung der kommunalen Trink- und Abwasserversorgung (Brunnen, Zähler, Pumpstationen)
- Überwachung der lückenlosen Kühlkette am Flughafen Wien VPHC

4. FORCEBEE – IOT DÜNNSCHICHTFOLIEN BREMSKRAFTMESSUNG

Als ich 2021 den ÖBB Expert*innen aus der Abteilung Bremssysteme meine Idee für die Zukunft der Bremskraftmessung präsentierte, war das Staunen groß. Ich habe ein Blatt Papier in den 0,5 mm dünnen Spalt zwischen Bremsbacke und Bremsscheibe gelegt und erläutert, dass auf diese Weise ein neu zu entwickelnder Flächensensor die Anpresskräfte erfassen wird. 18 Monate später wird das NETBEE Bremskraftmess-System (Abb. 1) auf der InnoTrans in

Berlin als „World Innovation“ ausgezeichnet, im September 2023 folgt die Verleihung des ERCI Innovation Awards als „Bestes europäisches KMU“.

Abb. 1: ForceBEE Bremskraftmessung

Stellen Sie sich folgendes vor: Sie bringen Ihren PKW zur Begutachtung in die Werkstatt und Ihr Mechaniker tauscht die Bremsen - unabhängig davon, ob diese abgefahren sind oder nicht. Genau vor dieser Problematik stehen die Instandhalter im Schienenverkehr. Je nach Hersteller erfolgt ein Austausch der Bremszangen zum Beispiel nach 6 Jahren, wobei viele der Zangen nach diesem Intervall noch einwandfrei funktionieren. Dies konnte bisher jedoch nicht nachgewiesen werden, da es dazu eine Dünnschicht-Folien Technologie zur Erfassung der Kräfte direkt am Zug braucht. Der Tausch der 120 Kilogramm schweren Bremszangen an 24 Positionen ist mit erheblichem Zeit- und Arbeitsaufwand verbunden. Außerdem werden wertvolle Ressourcen verschwendet und voll funktionsfähige Bremszangen aus dem Verkehr gezogen.

Das NETBEE System überprüft Schienenfahrzeuge jeden Typs wesentlich ökonomischer und genauer auf ihre Bremsleistung. Die Positionierung der neu entwickelten Dünnschichtfolien erfolgt direkt zwischen Belag und Scheibe bzw. Klotz und Rad, ohne mechanische Umbauten. Die Sensorik erfasst die Messdaten unverfälscht auf engstem Raum über die gesamte Fläche der Bremsklötze direkt an der Messstelle. Auf diese Weise können Reibungskräfte des Bremsgestänges, verursacht durch Schwergängigkeit, mitberücksichtigt werden. Sämtliche Daten werden drahtlos an ein Tablet übertragen, das als HMI fungiert und den gesamten Messvorgang steuert. Die Prüfdauer ist dank der Messung an bis zu 24 Messpunkten gleichzeitig stark verkürzt. Die Einsparungen liegen im Millionenbereich – und das bei gleichzeitiger Steigerung der Messgenauigkeit und Sicherheit im Schienenverkehr.

5. NEUBAU PRODUKTIONSSTANDORT

Mit einem Investitionsvolumen von 3,5 Millionen € entsteht im 3G Gewerbepark Rothenthurm ein neuer High-Tech Produktionsstandort mit Bürogebäude, Labor für Forschung und Entwicklung sowie separater Werkshalle (Abb. 2). Mit Umsetzung des Bauvorhabens im Murtal wird die hohe Nachfrage im Bereich IoT gedeckt und die gesamte Wertschöpfung in die Steiermark geholt. Noch im November 2023 findet der Umzug an den neuen Standort statt, der sowohl qualitativ als auch quantitativ einen Meilenstein in der gesamten Unternehmensentwicklung darstellt.

Abb. 2: Neuer Produktionsstandort

AUTOR

Dipl.-Ing. Walter Rieger

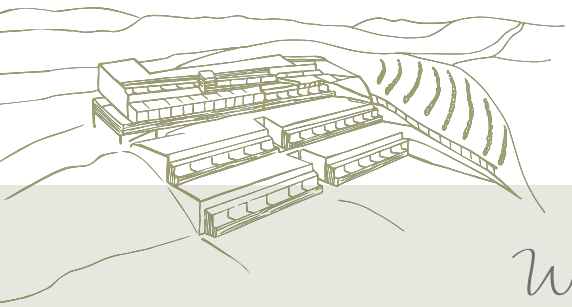
NET-Automation GmbH
Holzinnovationszentrum 3 in 8740 Zeltweg

0664 1145789
walter.rieger@net-automation.at

DER TAGUNGSORT MIT GENUSS

- 4 Seminarräume von 40m² bis 160m²
- 46 Zimmer zur Doppel- oder Einzelnutzung
- Gemütliches Restaurant mit sonniger Panoramaterrasse
- Wellness mit Sauna, Dampfbad & Außenpool
- 5-10 Fahrminuten zu den verschiedenen Manufakturen, wie Gölles, Zotter & Vulcano

Das „Regionale" ist Herzstück unserer Philosophie und deshalb auch bei den Pausenschmankerln nicht wegzudenken: Bauernbrot, Vulcano-Schinken, steirischer Käse – und alles in der richtigen Würze. Dazu gibt's Fruchtsäfte aus der gefühlten Nachbarschaft. Die leichte Küche zu Mittag gibt schon einen Vorgeschmack auf die abendlichen Köstlichkeiten, die Sie rundum begeistern werden.



GENUSSHOTEL RIEGERSBURG

Wir freuen uns auf Sie!

Starzenberg 144 | A-8333 Riegersburg | Tel +43 31 53 20 0 20 | info@genusshotel-riegersburg.at | www.genusshotel-riegersburg.at

Local Hero

FH Campus Wien: Auszeichnung Local Hero Natalie Gemovic, MSc

Kurzfassung:
„Ich möchte ermutigen Lösungen umzusetzen und neugierig zu bleiben. Denn Probleme sind da, um sie zu lösen und Veränderungen, um das Beste daraus zu machen. Die Kombination aus bestehendem Alten, erfrischend Neuem und visionärem Geist, unter Berücksichtigung der sozialen Aspekte, birgt das höchste Potenzial zu einer bestmöglichen Lösung.“

Beruflicher Werdegang

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

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

Meine nächste Lebensstation brachte mich ins Lokale Radio, als Assistentin der Geschäftsführung. In dieser Zeit beschäftigte ich mich intensiv mit Neukunden-Akquise, Marketing und unterstützte die Geschäftsführung auf organisatorischer und strategischer Ebene. Aufgrund einer Gesetzesänderung wurde das Lokale Radio geschlossen und ich zog weiter.

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

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

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

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

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

Während meiner Karenz entschied ich mich für ein technisches Studium. High Tech Manufacturing an der FH Campus Wien bot mir eine hervorragende Orientierung und Ausbildung im technischen Bereich. Dieses Studium entsprach genau dem, was ich suchte. Dazu, Hand aufs Herz, gibt es hier auch ein Formula Student Team, das Os.Car Racing Team! Ein Team aus Studierenden, welches neben dem Studium einen richtigen Rennwagen baut und fährt. Ich wollte unbedingt zu diesem Team und sei es nur um am Rande mitzuarbeiten, denn meine Zeit als Alleinerzieherin war begrenzt. Doch aus „am Rande mitarbeiten“ wurde schon im ersten Jahr ein intensiv am Cost Report und Business Plan Arbeiten. In meinem zweiten Studienjahr wurde ich Modulleiterin von Engine & Drivetrain. Es galt einen Antriebsstrang in 9 Monaten mit einer handvoll Leuten zu konzipieren, entwickeln und umzusetzen. Bei den Wettbewerben musste das Engineering Design auch vor Judges verteidigt werden, genauso wie der Cost Report und auch der Business Plan. Für das darauffolgende Jahr bewarb ich mich für die gesamte Teamleitung. Mir wurde das Vertrauen von den Faculty Advisors entgegengebracht und ich wurde für zwei Jahre Team Captain des Os.Car Racing Teams. An dieser Stelle möchte ich mich auch namentlich bei FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heimo Sandtner, FH-Prof. Dipl.-Ing. Udo Unterweger, Sebastian Geyer, BSc MSc und Victor Klamert, BSc MSc bedanken. In der Zeit als Team Captain von knapp 45 freiwilligen Studierenden konnte ich all meine bisherigen beruflichen Erfahrungen, erlangtes Wissen im Studium und individuelle Kompetenzen einsetzen. Ich führte ein Entwicklungsunternehmen aus freiwilligen Mitarbeitern. Neben zahlreichen technischen Herausforderungen gibt es in so einem großen Team natürlich auch zwischenmenschliche Ungereimtheiten, die es zu lösen gilt. Selbst wenn die technischen Probleme den Eindruck machen, oft leichter lösbar zu sein, lernt man durch die persönlichen Thematiken doch sehr viel. Wichtig ist nur, dass im Endeffekt alle mithelfen, motiviert bleiben und an einem Strang ziehen. Literatur über Körpersprache, konstruktive Gesprächsführung und Team-

führung waren meine Gute Nacht Lektüre. Das Lernen für die Prüfungen musste des Öfteren zwischen Tür und Angel geschehen. Ich lernte in unterschiedlichsten Situationen: am Kinderspielplatz, neben meinem kranken Kind, nach der Gute Nacht Geschichte, im Auto während der Anreise zu einem befreundeten Team und natürlich auch in Lerngruppen. Die intensiv verbrachte Zeit mit meinem Kind schärfte nicht nur meine Beobachtungsgabe, sondern auch mein Zeit- und Risikomanagement enorm. Fähigkeiten die ich auch heute noch täglich gut einsetzen kann. Mein Team und ich schafften es 100 Plätze auf der Weltrangliste nach oben zu klettern. Was ein beachtlicher Erfolg ist, und darauf kann jeder von uns stolz sein!

Abb. 1: *FSA 2018*

Im letzten Jahr meines Masterstudiums High Tech Manufacturing, nahm ich mir vor, die neue Teamleitung zu coachen. Zeitgleich leitete ich das International Relations Modul des Os.Car Racing Teams, Akquise von neuen Partnern, Sponsoren und Kommunikation mit bestehenden Partnerunternehmen. Es war ein schwieriges Jahr (2020) und die Kommunikation nahm neue Formen an. Es ging weg vom persönlichen Kontakt zum virtuellen Kontakt. Auch die Lernbetreuung für die Studierenden aus dem FIT-Programm wurde umgestellt von Präsenz auf Virtuell. Neben Home-Schooling meiner Tochter und dem Schreiben der Masterarbeit unterstützte ich die Gender und Diversity Abteilung operativ und in der Lernbetreuung. Was mir sehr viel Spaß gemacht hat.

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

Abb. 2: *Future Work Challenge 2019*

Im Jahr 2020 schloss ich auch mein Masterstudium mit Auszeichnung ab. Meine Masterarbeit galt noch dem Verbrennungsmotor und der Nockenwelle (Anpassung des Drehmomentverlaufs des Honda PC40 Formula Student Motors mit „Ricardo Wave“)

Nach meinem Abschluss wartete eine neue Herausforderung auf mich. Seit August 2020 bin ich bei Wien Energie in der Abteilung für Entwicklung neuer Geschäftsfelder – eMobility tätig. Ich bin mit vollem Herzblut dabei und die Optimierung der vorhandenen Ladeinfrastruktur im Sinne der Nachhaltigkeit, sowie die Entwicklung neuer digitaler Lösungen für den Kunden, um die Elektromobilität attraktiver zu gestalten, sind mir ein großes Anliegen. In der Rolle der technischen Produktentwicklung neue Lösungen zu schaffen, gibt mir ein gutes Gefühl etwas für die Gegenwart und Zukunft beitragen zu können. Meine Funktion ermöglicht es mir, gemeinsam mit KollegInnen, vor allem Projekte voranzutreiben, welche umweltfreundliche Mobilität ermöglichen.

Im Juni 2022 wurde ich zum Future Hero Award nominiert. Gleich darauf im September 2022 wurde ich vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie zur FEMtech-Expertin des Monats September gekürt.

Ich möchte alle bestärken, das zu tun, was sie gerne machen und neugierig zu bleiben. Meine Tochter darf und kann jetzt schon in die Technik hineinschnuppern, um für die Zukunft gewappnet zu sein.

Natalie Gemovic, BSc MSc

natalie.gemovic@wienenergie.at / 0043 680 401 83 93

seit 2020 Technische Projektleitung und Produktentwicklung Wien Energie GmbH
2022 FEMtech-Expertin des Monats September
2022 Future Hero Award Nominierung
2019-2020 Modulleiterin International Relations Os.Car Racing Team, Lernbetreuung FH Campus Wien
2019 Future Work Challenge Award
2017-2019 Teamleiterin Os.Car Racing Team
2016-2017 Modulleiterin Engine & Drivetrain Os.Car Racing Team
2015-2016 Cost Report und Business Plan Os.Car Racing Team
2015-2020 Bachelor- und Masterstudium High Tech Manufacturing FH Campus Wien
2012-2015 Karenz
2010-2012 Mechatronikerin im Außendienst Servosan GmbH
2008-2010 Online-Marketing
2007-2008 Vertriebsmanagerin (IT-Unternehmen)
2006-2007 Assistenz der Geschäftsführung (Lokales Radio)
2005-2006 Dolmetscherin
2002-2005 Computertechnikerin / EDV-Lehrerin

LEIDENSCHAFT FÜR MOBILITÄT

Gestalte mit uns die nachhaltige Mobilität der Zukunft

Steig um auf die nachhaltige Schiene!

Siemens Mobility ist das größte Bahnindustrieunternehmen Österreichs. Mehr als 3.000 Mitarbeiter entwickeln und produzieren in Wien und Graz modernste Technologie für Schienenfahrzeuge und Eisenbahninfrastruktur. Wir ermöglichen Mobilitätsbetreibern weltweit, Züge und Infrastruktur intelligent zu vernetzen, das Fahrgasterlebnis zu verbessern und die Verfügbarkeit zu garantieren. Neben der Fertigung in den zwei großen Werken Wien und Graz spielen Forschung und Entwicklung eine entscheidende Rolle: Allein in Österreich hat Siemens Mobility in den letzten drei Jahren 140 Patente erhalten.

SIEMENS

ENTWICKLUNGSPERSPEKTIVEN BEI TEST-FUCHS

Das High-Tech Unternehmen im Bereich Luftfahrt

Was macht TEST-FUCHS? Auf den Punkt gebracht: wir tragen mit unseren Produkten zur Sicherheit im Flugverkehr bei. Alle Komponenten und Systeme eines Flugzeuges müssen regelmäßig geprüft werden. Genau dafür sorgen wir. In enger Abstimmung mit unseren KundInnen entwickeln und bauen wir jene Test-Umgebung, die sie benötigen. Darüber hinaus fertigen wir auch einzelne Komponenten für die Luft- und Raumfahrt und sind an innovativen Entwicklungen dran.

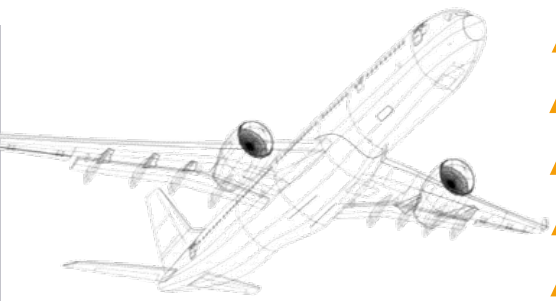
Wie sehen der Einstieg und die Entwicklungsmöglichkeiten für AbsolventInnen aus? AbsolventInnen haben vielfältige Möglichkeiten bei uns im Engineering, sei es im Bereich Prüfanwendungen in der Luftfahrt oder der Entwicklung von Ventilen in der Raumfahrt. Als international tätiges Unternehmen mit 12 Standorten bieten wir die Möglichkeit, zeitlich befristet bzw. längere Auslandserfahrung zu sammeln.

Was sind die Herausforderungen der Zukunft? Langfristig ist die Luftfahrt bestrebt die CO_2-Emissionen zu senken (Green Aviation). Mit der Entwicklung im Bereich Wasserstofftechnologie leisten wir einen wesentlichen Beitrag zur Beschleunigung des Umstiegs auf Nachhaltigkeit im Luftfahrtsektor.

zur Website

KARRIERECHANCEN FÜR ABSOLVENTINNEN

- Automatisierungstechnik
- Mechan. Konstruktion
- Elektronikentwicklung
- Konstruktion Elektrik
- Fluidkonstruktion
- Produktion / Montage



- Aerospace Engineering
- Wasserstoffentwicklung
- Softwareengineering
- Kalibrierung
- Intern. Field Service

TEST-FUCHS KEYFACTS

- 660 MitarbeiterInnen
- 12 Standorte weltweit, davon 2 in Österreich
- über 75 Jahre Erfahrung im Prüfgerätebau
- Mehrfache Auszeichnung als „Bester Arbeitgeber“ in verschiedenen Kategorien
- 6 Lehrberufe, über 10 neue Auszubildende/Jahr

TEST-FUCHS GMBH
3812 Groß-Siegharts
1220 Wien, DC Tower
office@test-fuchs.com

FH CAMPUS WIEN
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mit über 8.000 Studierenden an drei Standorten und fünf Kooperationsstandorten ist die FH Campus Wien die größte Fachhochschule Österreichs. In den Departments Angewandte Pflegewissenschaft, Applied Life Sciences, Bauen und Gestalten, Gesundheitswissenschaften, Soziales, Technik sowie Verwaltung, Wirtschaft, Sicherheit, Politik steht ein Angebot von nahezu 70 Studiengängen und Hochschullehrgängen in berufsbegleitender und Vollzeit-Form zur Auswahl. Anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung wird in zehn fachspezifischen Kompetenzzentren gebündelt. Fort- und Weiterbildung in Form von Seminaren, Modulen und Zertifikatsprogrammen deckt die Fachhochschule über die Campus Wien Academy ab. Die FH Campus Wien ist Gründungsmitglied im Bündnis Nachhaltige Hochschulen.

Die FH Campus Wien bietet Vernetzung für Studierende, Absolvent*innen, Lehrende und Mitarbeiter*innen der Fachhochschule ebenso wie für Unternehmen, Organisationen und öffentliche Einrichtungen. Aktivitäten und Angebote finden Sie auf www.campusnetzwerk.ac.at.

FH Campus Wien
Favoritenstraße 226
1100 Wien
U1 Altes Landgut
T: +43 1 606 68 77-6600
office@fh-campuswien.ac.at
www.fh-campuswien.ac.at

Mit freundlicher Unterstützung von

PHOENIX CONTACT
RHP GROUP
TESTFLUGHS safety in test > safety in flight
cubicure
GENUSSHOTEL RIEGERSBURG
SIEMENS

DOI: 10.34895/fhcw.0013