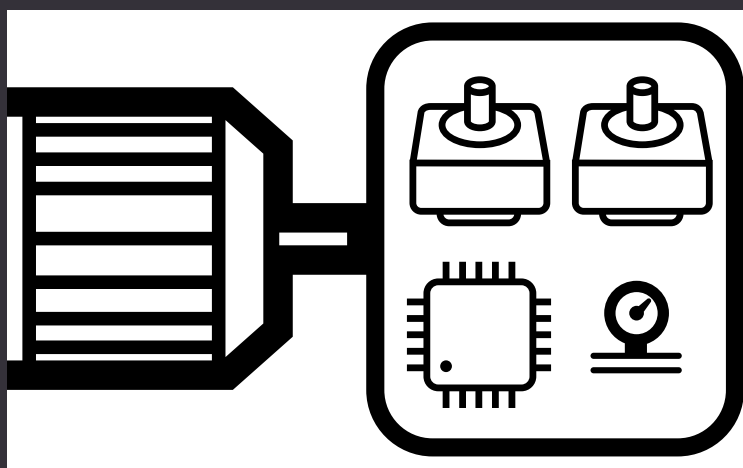
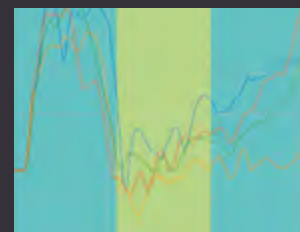
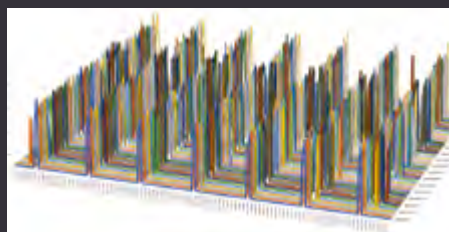


Institut für Automation FHNW
Tätigkeitsbericht 2020
www.fhnw.ch/ia



Inhalt

Impressum

Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW,
Hochschule für Technik, Institut für Automation
Projektleitung und Redaktion: Rolf Isler, Jadwiga Gabrys
Layout: Ben Newton, digitworks.ch
Erscheinungsweise: jährlich
Auflage: 300 Exemplare

3	Editorial
Forschungskompetenz Moderne Regelungstechnik	
4	Innovative, modellbasierte thermische Industriesysteme Steffen Thierer
6	Optimierung der Unterwalzendruckregelung einer hydraulischen Biegemaschine Max Edelmann
Forschungskompetenz Industrielle Automation und Gebäudeautomation	
10	Messüberwachung bei einer Arealüberbauung mit Eigenverbrauchsmanager und lokaler Strombörse Hans Gysin
14	Condition Monitoring von Wälzlagern Albert Zihlmann
18	Neue Verbindungstechnologie integriert in ein einmaliges Robotersystem und Machine Learning Max Edelmann
22	Wärmepumpenprüfstand für industrielle Wärmepumpen David Zogg

Forschungskompetenz Mechatronik	
24	Berührungslose Energie- und Datenübertragung Pascal Schleuniger
26	Digitalisiertes One Shift Battery Tool Hans Gysin
28	EMV optimierte Kunststoffgehäuse Pascal Schleuniger
Nachwuchsförderung sowie Aus- und Weiterbildung	
30	Neue Smart-Manufacturing Lehranlage an der ABB Technikerschule mit kollaborativem Roboter YuMi Max Edelmann
34	Bachelor-Thesen
36	Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden
37	Preis



Editorial

Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Das Jahr 2020 war auch für das Institut für Automation FHNW ein schwieriges Jahr im Zeichen von Corona. Es gelang dennoch, gemeinsam mit den Industriepartnern neue Projekte im Kompetenzbereich des Institutes zu gewinnen. Wir freuen uns, Ihnen im vorliegenden Bericht den Stand einiger Projekte, die wir mit der Unterstützung von Innosuisse und weiteren öffentlichen Institutionen bearbeiten, vorzustellen. Zugleich danken wir an dieser Stelle all unseren Projektpartnern für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und freuen uns auf die künftige Kooperation.

Im Rahmen der Ausbildung durfte unser Institut den Unterricht in den Studiengängen Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektro- und Informationstechnik und Energie- und Umwelttechnik wahrnehmen. Im Bericht finden Sie Bachelor-Arbeiten unserer Absolventinnen und Absolventen. In der Weiterbildung leistet das Institut für Automation einen wesentlichen Beitrag im MAS Automation Management.

Es ist uns eine besondere Freude, Herrn Daniel Treyer, dem im Berichtsjahr neu promovierten Doktor-Ingenieur zu gratulieren. Er ist ein Absolvent unseres Bachelor- und Master-Studiums und war über viele Jahre als Wissenschaftlicher Assistent und Doktorand am Institut für Automation der FHNW angestellt. Die Promotion entstand in Kooperation mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, der KTI/Innosuisse und dem Auftraggeber Meyer Burger Wafertec. Prof. Dr.-Ing. Alfons Ams hat am Institut für Mechanik und Fluidodynamik die Arbeit seitens der TU begleitet. Ein besonderer Dank geht an ihn und auch an die Förderung durch Innosuisse in Bern. Der Titel der Arbeit lautet "Modellbasierte Optimierung des Diamantdrahtsägeprozesses für die Fertigung von Siliziumwafern".

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre und freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme bei Automationsaufgaben aller Art. Gerne lösen wir mit Ihnen gemeinsam Ihre Problemstellungen und bilden dabei unsere Studierenden praxisnah aus!

Mit freundlichen Grüßen

Für das Team

Roland Anderegg
Institutsleiter

Innovative, modellbasierte thermische Industriesysteme

Der Industriepartner Tool-Temp AG entwickelt und produziert Temperiergeräte für verschiedene industrielle Anwendungen im Bereich der Spritz- und Druckgusstechnik. Diese Temperiergeräte sollen nun auf den Industrie-4.0-Standard gebracht und digitalisiert werden. Dazu soll in diesem Innosuisse-Projekt die Grundlage für einen intelligenten Regler gelegt werden.

Steffen Thierer

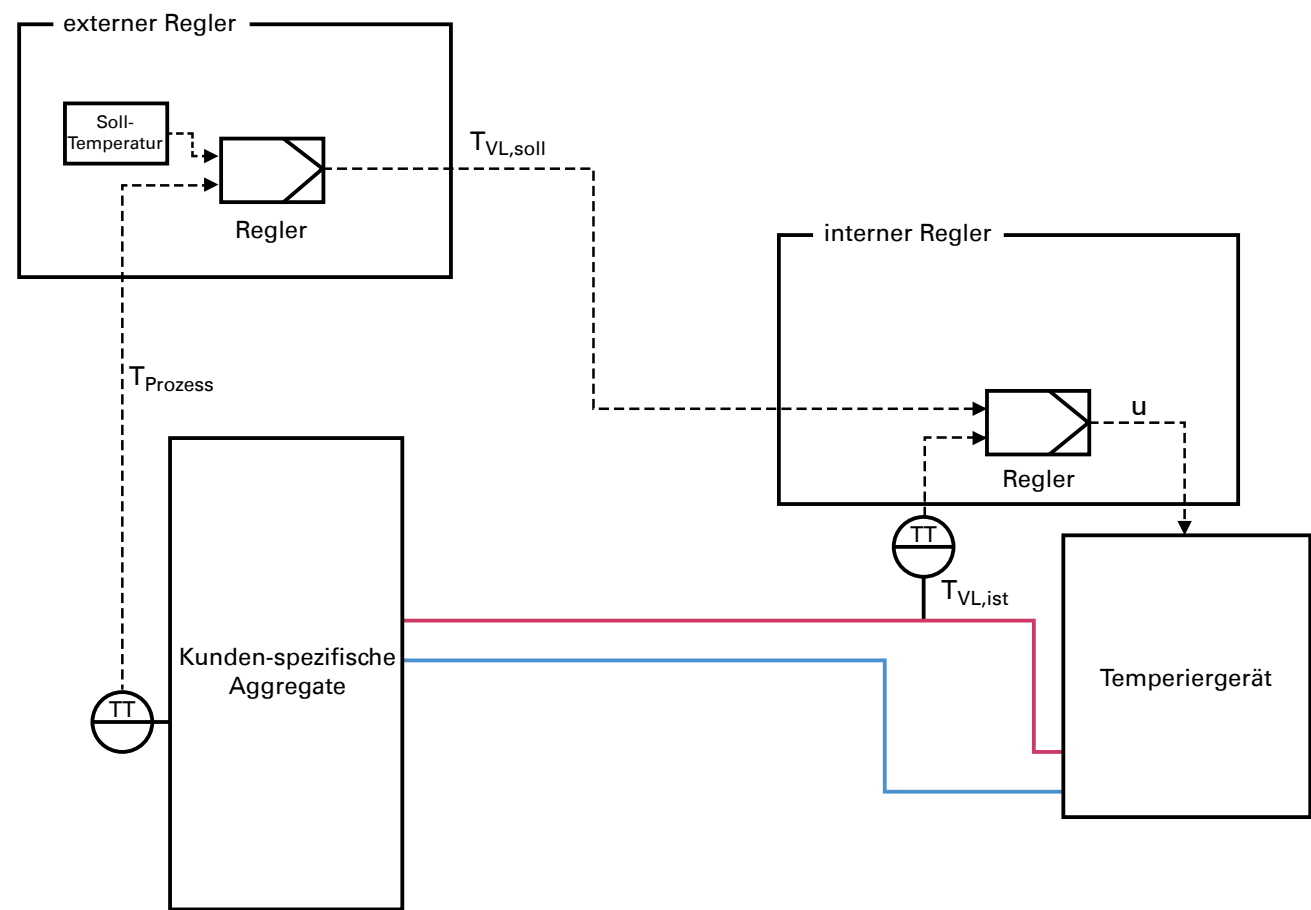


Abbildung 1: Aufbau der Regler-Kaskade

Ausgangslage

Als intelligenter Regler ist eine prädiktive, modellbasierte Regelung (MPC) zu entwerfen, die zum einen die Temperiergeräte energieeffizienter betreibt und zum anderen als Basis für die Überwachung von verschiedenen kundenspezifischen Aggregaten dient. Als Hauptvorteil der modernen Regelungstechnik wird eine automatische Adaption der Parameter an die angeschlossenen Prozesse gesehen, was die Einstellung der Regler massiv vereinfacht und die Ro-

bustheit im Betrieb massgeblich erhöht. Der adaptive Regler soll aus den im Betrieb anfallenden Messdaten über Methoden der Parameter-Identifikation die Dynamik der Regelstrecke bestimmen. Dieser adaptive Regler (externer Regler) ist mit dem Regler für die Vorlauftemperatur (interner Regler) in eine Regler-Kaskade eingebettet. Der externe Regler liefert als Stellgrösse eine Solltemperatur für den darunterliegenden internen Regler. Nachfolgend ist der Aufbau dargestellt.

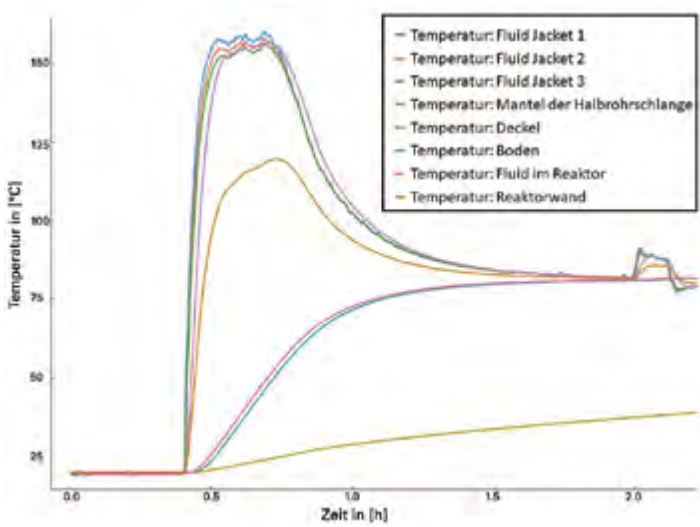


Abbildung 2: Simulation des Chemiereaktors

Modellierung & Simulation

Für die Auslegung des Reglers müssen Modelle der jeweiligen Anwendungen entwickelt werden. Das Ziel dieser Modelle ist es, das thermische Verhalten der Systeme widerzuspiegeln. Dazu sind Modelle für einen Chemiereaktor entwickelt worden. Weiter wurden auch chemische Prozesse modelliert, wie zum Beispiel eine exotherme Veresterungsreaktion. Die Modelle werden in einem Julia¹ Framework implementiert. Die entstehenden Simulationsdaten sind mit Messdaten von einem realen System verglichen worden. Die Messdaten stammen von einem 2m^3 umfassenden Reaktor, bei dem Wasser auf- und abgekühlt wurde. So können die Parameter des Modells identifiziert und die Validierung durchgeführt werden. Nachfolgend ist die Simulation des Chemiereaktors dargestellt.

Aufnahme von Messdaten im Labor

Für die Auslegung der Regler wurden Messdaten im Chemie-Labor aufgenommen. Dazu wurde ein Temperiergerät von Tool-Temp an einen Scale-Up-Reaktor angeschlossen. Der Scale-Up Reaktor kann das Verhalten von einem bis zu 1000 Liter fassenden Reaktor nachbilden. Der Scale-Up Reaktor besteht aus zwei Behältern. Der innere Behälter ist

der Behälter des tatsächlichen Reaktors und besteht aus Glas. Um diesen ersten Behälter herum ist ein zweiter Behälter angebracht, der als Schutzmantel dient. Für die Isolation zwischen den Behältern wird Luft verwendet. Das Temperiergerät wurde über eine Bypass-Schaltung an den Reaktor angebunden. Um den Energieverlust ähnlich wie bei grossen Reaktoren zu halten, ist der Scale-Up-Reaktor zusätzlich mit einem aktiven «Insulation Tempering» versehen, welches die Wandtemperatur regelt. Weiter wird mit dem Rührer eine optimale Durchmischung des Fluids im Glasreaktor garantiert. Der ganze Versuchsaufbau ist nachfolgend dargestellt.

Ergebnisse und Ausblick

In den bisherigen Arbeiten wurden einerseits Modelle, die die physikalischen Phänomene der verschiedenen Anwendungen von Tool-Temp abdecken, gebildet. Andererseits wurden diese Modelle mit realen Daten eines Chemie-Reaktors verglichen und validiert. Weiter wurden diese Modelle in das Framework von Tool-Temp integriert. So ist ein optimaler Wissensaustausch zwischen Projekt-Team und Auftraggeber gewährleistet. Es ist Gegenstand der laufenden Arbeiten, anhand dieser Modelle einen selbstlernenden MPC zu entwickeln. Dieser soll als Novum mit einem «Unknown Input Observer» ergänzt werden, um die wesentlichen Störgrössen vorherzusagen. Bei erfolgreicher Umsetzung für den Chemie-Reaktor soll in einem nächsten Schritt der Spritzgussprozess näher betrachtet werden.

Auftraggeber

Dr. Jonas Asprien, Head of Research & Development
Tool-Temp AG, jonas.asprien@tool-temp.ch

Projektteam

Steffen Thierer, Bsc. Systemtechnik, wissenschaftlicher Assistent, steffen.thierer@fhnw.ch
Prof. Dr. David Zogg, Dozent für Regelungstechnik, Projektleiter, david.zogg@fhnw.ch
Prof. Dr. Andreas Zogg, Arbeitsgruppenleiter für Physikalische Chemie, Prozessmodellierung und Reaktionstechnik, FHNW Muttensz, andreas.zogg@fhnw.ch

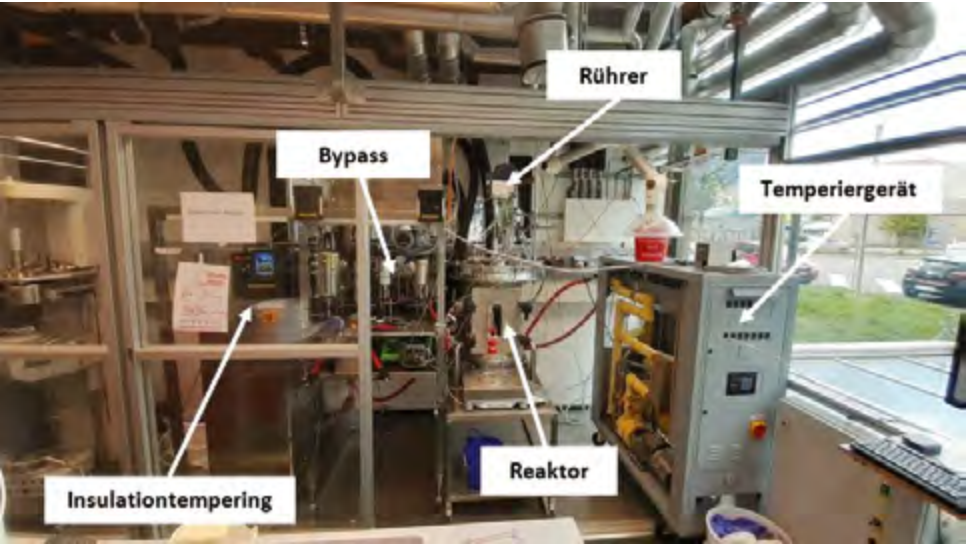


Abbildung 3: Aufbau des Versuches

¹ Julia ist eine höhere Programmiersprache, die vor allem für numerisches und wissenschaftliches Rechnen entwickelt wurde. Des Weiteren erinnert die Syntax stark an MATLAB.

Optimierung der Unterwalzendruckregelung einer hydraulischen Biegemaschine

Die Biegequalität und die Prozesssicherheit sind wesentlich vom Unterwalzendruck abhängig. Ein modellgestützter Reglerentwurf zeigt viele Vorteile für Blechbiegemaschinen. Die Modellierung und Regelung ist Teil eines gemeinsamen Forschungsprojekts der Firma Haeusler AG und des Instituts für Automation.

Max Edelmann

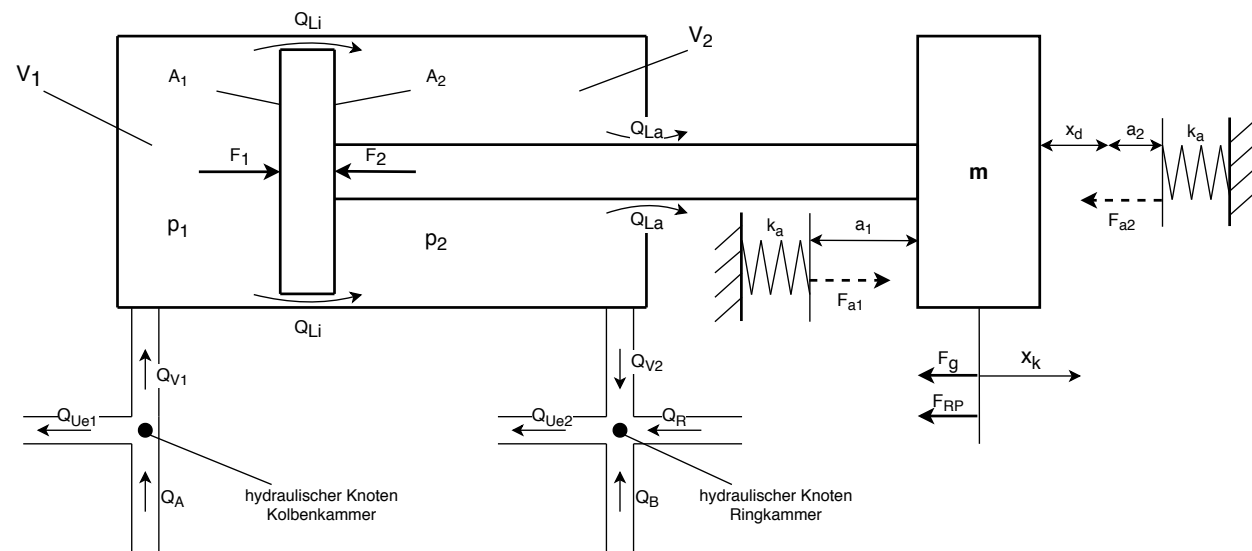


Abbildung 1: Technologieschema zum Modellieren des Unterwalzendrucks, J. Wirz 2020

Einleitung

Die Firma Haeusler AG in Duggingen ist führend in Entwicklung und Bau von Blech- und Profilbiegemaschinen, diese werden vor allem in den Industriezweigen Automobil, Luftfahrt, Schiffsbau, Baumaschinen, Windenergie, Kraftwerk und Behälterbau eingesetzt. In diesen Anwendungsfeldern werden Bleche mit einer Blechdicke von bis zu 300 mm und einer Blechbreite bis zu 8000 mm kalt umgeformt. Eine Vierwalzenbiegemaschine ist in Abbildung 2 dargestellt.

Neben der konventionellen Regelungstechnik sind auch modellgestützte Reglerentwurfsmethoden für diesen Industriebereich von Bedeutung. Für die Entwicklung solcher Konzepte wird eine Vierwalzenbiegemaschine untersucht und das Systemverhalten der hydraulischen Aktoren im Blechbiegeprozess modelliert.

Die Blechumformung wird durch gezielte und fein dosierbare Krafteinwirkungen auf das zu biegende Blech erreicht, dazu ist dieses im direkten Kontakt mit drei der vier Walzen eingespannt. Die Oberwalze und die Unterwalze sind

immer am Biegeprozess beteiligt und sorgen dafür, dass die Bearbeitungsposition des Blechs genau definiert ist. Dabei ist die angetriebene Oberwalze in der Position starr und das Blech wird durch Druck der vertikal beweglichen Unterwalze eingeklemmt. Die dritte am Biegeprozess beteiligte Walze ist eine der beiden zustellbaren Seitenwalzen. In diesem Maschinenkonzept ist insbesondere der Unterwalzendruck eine wichtige Systemgrösse für das Biegeergebnis. Ein Schema des Wirkprinzips ist in Abb. 3 zu sehen und in Abb. 1 ist ein Technologieschema der Hydraulik zur Ansteuerung der zustellbaren Walzen zu sehen, welches die Modellierungsgrundlage bildet.



Abbildung 2: Blechbiegemaschine Typ: VRM, Hersteller: Haeusler AG

Wirkzusammenhänge beim Unterwalzendruck

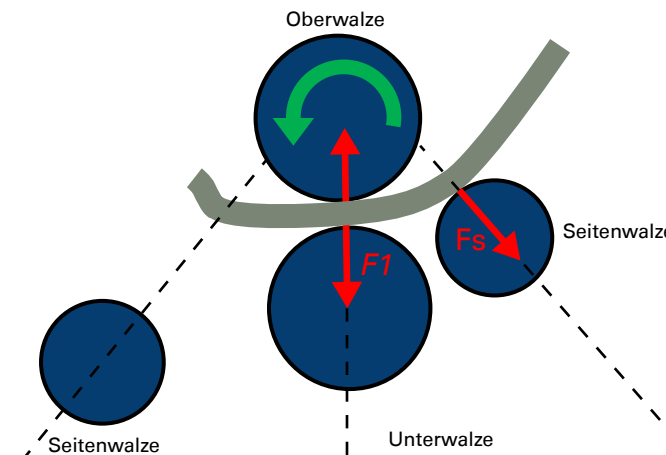


Abbildung 3: Dominierende Kraftwirkung gegen den Unterwalzendruck im Blechbiegeprozess

Der Unterwalzendruck ist eine Grösse, die entsteht, indem die zustellbare Unterwalze an das Blech fährt und dieses an die Oberwalze drückt, um es einzuspannen. Das eingespannte Blech kann durch Rotation der angetriebenen Oberwalze bewegt werden. Durch Zustellen einer Seitenwalze an das Blech wird das benötigte Biegemoment erzeugt werden, um eine präzise Blechbiegung zu erzeugen.

Eine bemerkenswerte Aufgabe des Unterwalzendrucks ist der Sicherheit geschuldet. Das mitunter tonnenschwere Blech muss unter allen Umständen zwischen Ober- und Unterwalze eingespannt sein.

Um einen gewünschten Zielradius exakt zu erreichen, muss das entsprechende Biegemoment fein einstellbar sein. Dabei sind Abhängigkeiten zur Seitenwalzenposition und zum Unterwalzendruck zu berücksichtigen. Ein geringer Unterwalzendruck reduziert das wirkende Biegemoment und der gewünschte Zielradius wird nicht erreicht, sondern die Unterwalze verschiebt sich nach unten. Wenn der Unterwalzendruck zu hoch ist, kann zwar das benötigte Biegemoment erzeugt werden, allerdings besteht die

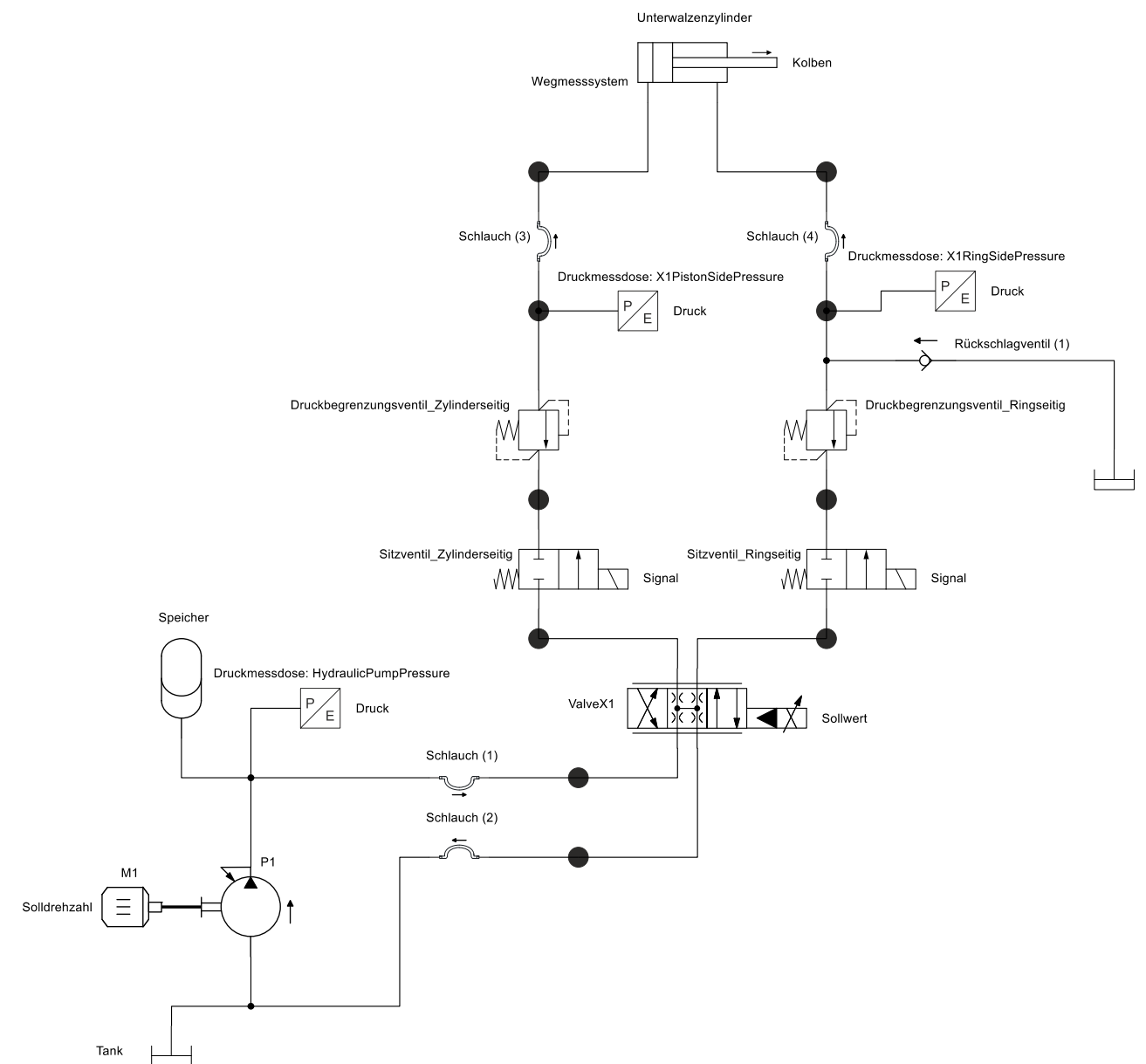


Abbildung 4: Hydraulikschema

Gefahr des Kaltwalzens, sobald das Blech bewegt wird, wodurch sich die Blechabmessungen unkontrolliert vergrössern können. Dieser Vorgang ist stets zu vermeiden, da das plane Blech vor dem Biegen exakt zugeschnitten wurde und bereits die endgültigen Abmessungen aufweist.

Um das Risiko des Kaltwalzens zu eliminieren, werden unterschiedliche Unterwalzendrücke benötigt. Zum einen ein geringer Unterwalzendruck, der das Blech sicher in der Maschine hält und zum Bewegen des Blechs an die unterschiedlichen Arbeitspositionen geeignet ist. Zum anderen ist ein höherer Unterwalzendruck gefordert, um das benötigte Biegemoment im Biegeprozess bereitzustellen.

Im Laufe des gesamten Biegeprozesses treten vielfältige Belastungssituationen auf, die den Unterwalzendruck beeinflussen und als prozessbedingte Störungen betrachtet werden können. Wichtige Zusammenhänge des Blechbiegeprozesses werden in Abb. 3 dargestellt. Die dominierenden Kraftwirkungen sind skizziert, durch Interaktion mit der Seitenwalze wirkt eine Kraft F_S und es entsteht das Biegemoment. Durch Interaktion des Blechs mit den anderen Walzen wird gleichzeitig der Unterwalzendruck durch die Kraft F_I beeinflusst.

Weiter wird das Blech durch Rotation der Oberwalze verfahren. Die Kraftwirkung F_I des eingespannten Blechs ist also abhängig vom Schwerpunkt und der Einspannsituation, diese verändern sich während des Verformungsprozesses durch die Blechgeometrie und -position.

Die Verschiebung der Unterwalze durch die verschiedenen Belastungssituationen soll keinen Einfluss auf den Unterwalzendruck haben, um ein präzises Biegeergebnis zu gewährleisten. Daraus ergeben sich Anforderungen für eine gute Unterwalzendruckregelung:

- Konstanter und präziser Unterwalzendruck während der Umformung für hohe Biegequalität
- Schnelles Umsetzen von verschiedenen Unterwalzendrücken. Zum einen um die Anforderungen des Biegeprozesses zu erfüllen und zum anderen, um einen Blechverfahrenmodus ohne Auswalzen des Blechs zu gewährleisten.

Modellierung einer hydraulischen Unterwalze

Für die effiziente Reglerauslegung und -einstellung ist eine Modellierung erforderlich. Zum einen existieren sehr viele unterschiedliche, kundenspezifische Blechbiegemaschinen und zum anderen werden mit diesen Maschinen spezifische Bleche mit unterschiedlichen Eigenschaften gebogen, welche zu völlig unterschiedlichen Belastungssituationen und Anforderungen führen können. Erschwerend ist das Systemverhalten der Hydraulikkomponenten durch Nichtlinearitäten geprägt. Modellierungsgrundlage bildet das Hydraulikschema zum Betreiben des eingesetzten Hydraulikaktors (Abb. 4), zusammen mit den Gleichgewichtsbedingungen der Volumenströme innerhalb des Hydraulikzylinders der Unterwalze (Abb. 1).

Das Modell wird vollumfänglich in MATLAB / Simulink erstellt und durch experimentelle Identifikationsmessungen an einzelnen Systemkomponenten parametrisiert. Zur Validierung des Gesamtmodells sind Messdaten der realen Maschine mit den Simulationsdaten gegenübergestellt (Abb. 5). Dazu ist das Systemverhalten zwischen der Ventilöffnung (Stellgrösse) und des Hydraulikzylinderdrucks (Regelgrösse) relevant. Vereinfachend können verschiedene Ventilstellungen statischen Systemdrücken im Beharrungszustand zugeordnet werden. Der Vergleich von neun verschiedenen Beharrungszuständen zeigt sehr gute Übereinstimmungen der wichtigsten Drücke ab 160 bar, sowie gute Übereinstimmungen ab 110 bar.

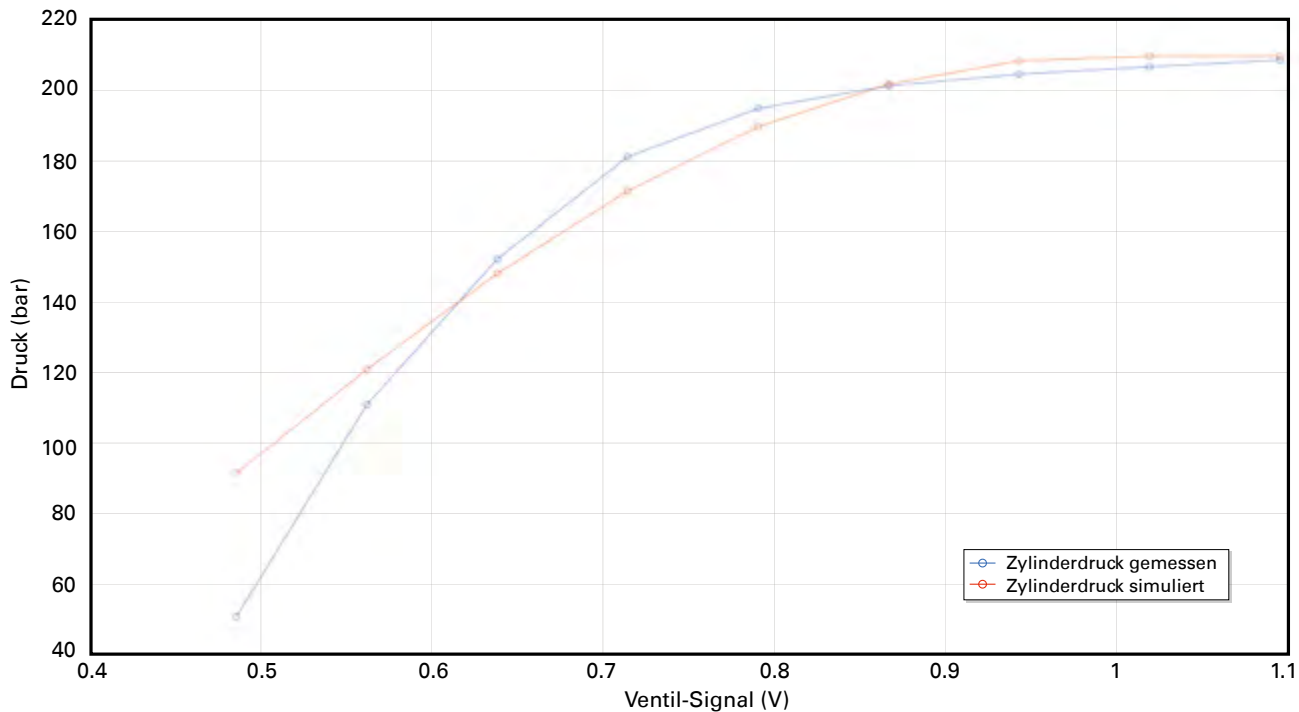


Abbildung 5: Validierung des Modells durch Vergleich von Stellgrösse und Regelgrösse im Beharrungszustand, J. Wirz 2020

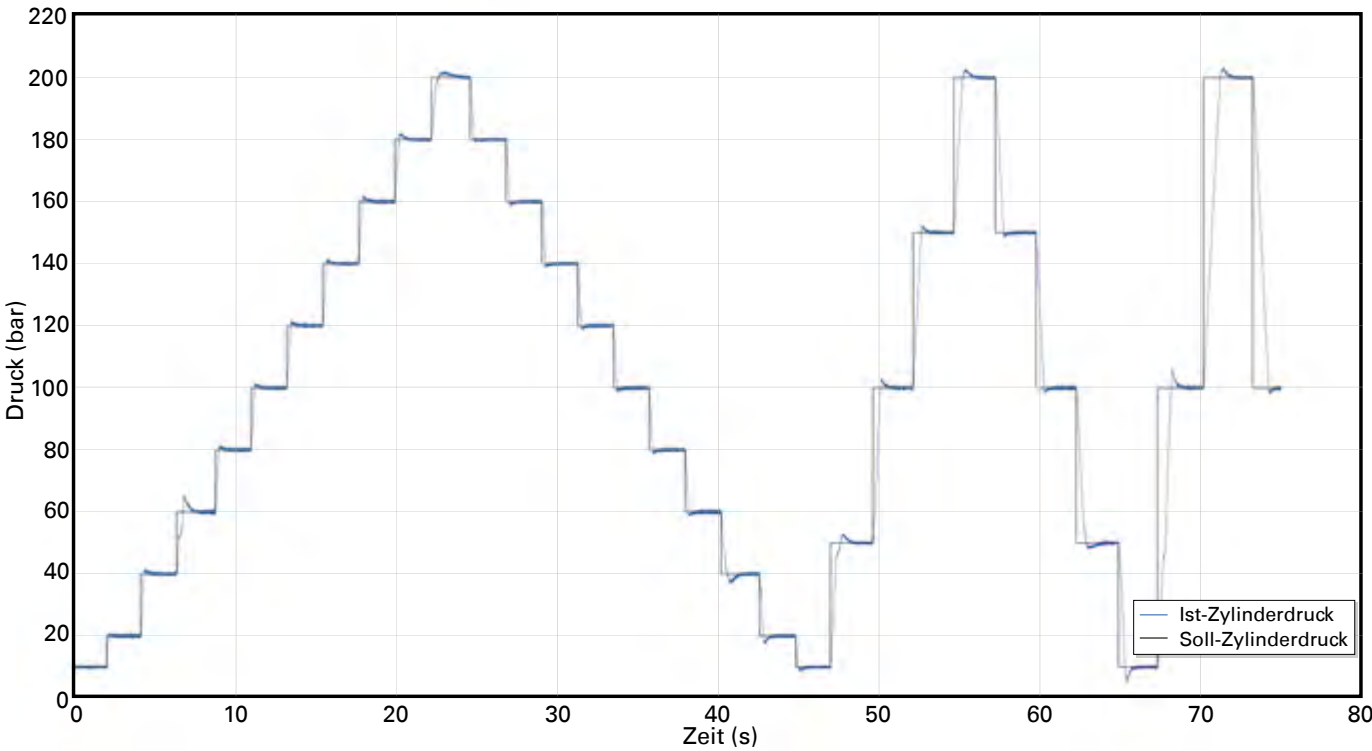


Abbildung 6: Führungsverhalten des PI-Reglers, J. Wirz 2020

Reglerentwurfsergebnisse

Auf der industriellen Maschinensteuerung steht ein konventioneller PID-Regler zur Verfügung und soll verwendet werden. Das nichtlineare Modell zur Beschreibung der Systemdynamik wird an verschiedenen Arbeitspunkten linearisiert. Als Arbeitspunkte dienen unterschiedliche Unterwalzendrücke: 50, 80, 100, 150, 200 bar. Es werden Reglereinstellungen eruiert, die alle Anforderungen erfüllen. Der Regler mit der besten Performanz wird ausgewählt.

Das Führungsverhalten des implementierten Reglers an der realen Anlage ist in Abb. 6 dargestellt. Ein geforderter Solldruckverlauf wird durch das geregelte System sehr gut umgesetzt. Für den Test wurden Schrittantworten mit unterschiedlichen Drucksprüngen durchgeführt und es zeigt sich bei allen Sprüngen ein sehr gutes Verhalten. Zudem wurden zu den oben beschriebenen Störungen Tests durchgeführt und belegen die erfolgreiche modellgestützte Reglerentwurfsmethodik.

Zusammenfassend steht ein getestetes Modell zur Verfügung, das in der Lage ist, für die unterschiedlichen Biegemaschinen und Anwendungsbereiche einen effizienten Entwurf des Unterwalzendruckreglers zu gewährleisten. Die Inbetriebnahme von neuen Maschinen für Kundenanwendungen kann durch die modellgestützte Entwurfsmethodik schneller, einfacher und sicherer durchgeführt werden.

Ausblick

Die Resultate zeigen ein vielversprechendes Verhalten und die Zusammenarbeit in diesem Themenbereich wird weiter vertieft, um zusätzliche Einflüsse zu berücksichtigen und einen grösseren Anwendungsbereich abzudecken.

Zum einen ist geplant, die Modellierung für Biegemaschinen mit zwei Hydraulikzylindern zur Unterwalzendruckregelung durchzuführen, um weitere Maschinentypen zu berücksichtigen. Zum anderen ist vorgesehen, den effizienten Einsatz von Sitzventilen zu untersuchen. Sitzventile bilden durch ihre stark nicht-lineare Dynamik einen besonderen Schwierigkeitsgrad für die aktive Regelung, bringen aber entscheidende Vorteile hinsichtlich der Energieoptimierung mit. Sitzventile sind in der Lage, ohne Druckverlust, die Hydraulikversorgung abzutrennen, so dass die Pumpe zum Aufbauen und Halten der hohen Hydrauliköldrücke in der Maschine nicht konstant betrieben werden muss. Die Hydraulikölpumpe ist ein wesentlicher Energieverbraucher und zeigt somit grosses Potential bei der Optimierung des Hydraulikölmanagements.

Diese Zusammenarbeit wird durch die Innosuisse unterstützt. Ein besonderer Dank geht an Joël Wirz, der in seiner Bachelor-Thesis einen wesentlichen Modellierungsbeitrag leisten konnte.

Industriepartner

HAEUSLER AG, Dr. Alexander Zwahlen,
azwahlen@haeusler.com

Projektteam

Max Edelmann, Wissenschaftler Mitarbeiter,
max.edelmann@fhnw.ch
Andrej Sonderegger, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent MSE, andrej.sonderegger@fhnw.ch
Noah Winkler, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent MSE, noah.winkler@fhnw.ch
Joël Wirz, Bachelor-Student in Systemtechnik,
joel.wirz@students.fhnw.ch

Messüberwachung bei einer Arealüberbauung mit Eigenverbrauchsmanager und lokaler Strombörse

Die erste Phase des BFE-Projekts (Bundesamt für Energie) zur Eigenverbrauchsoptimierung mit Strombörse bei der Arealüberbauung in Möriken-Wildegg wurde mit der einjährigen Messüberwachung im Herbst 2020 abgeschlossen. Der Anteil des Instituts für Automation FHNW an diesem Projekt war eine einjährige Messüberwachung zur Funktions- und Ergebniskontrolle des Eigenverbrauchsmanagers und der Strombörse. Der folgende Beitrag zeigt einige Erfahrungen und Schlussfolgerungen dieser einjährigen Messauswertung.

Hans Gysin

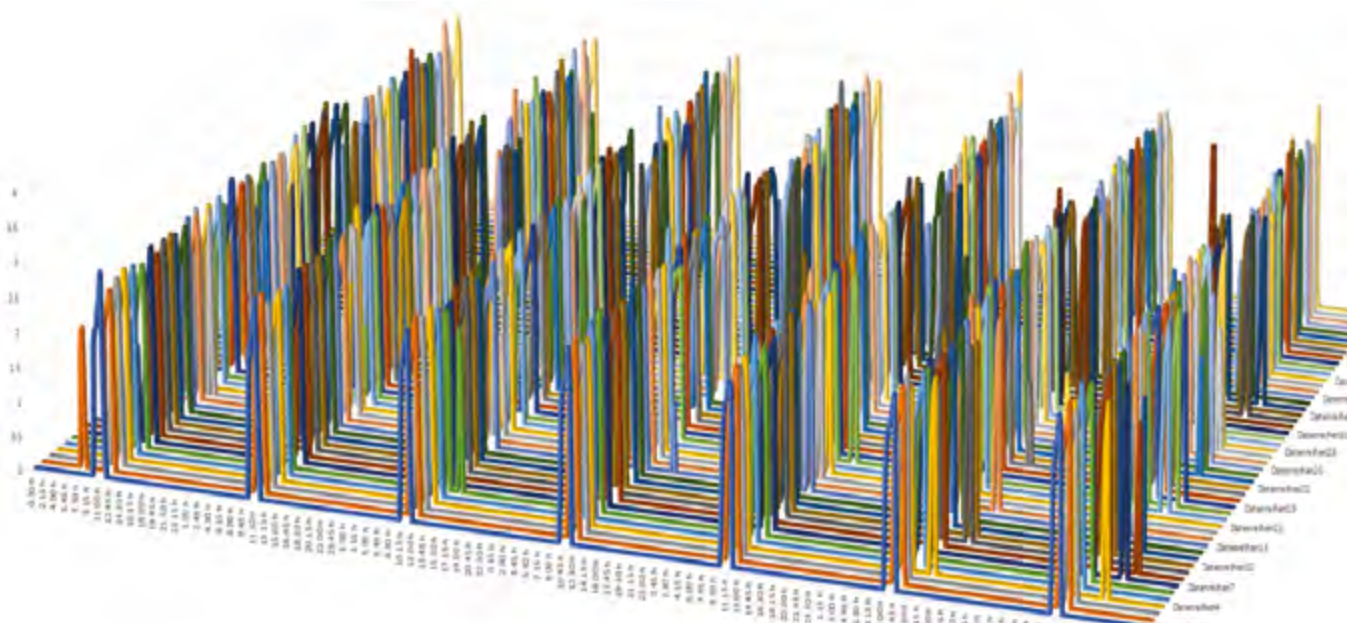


Abbildung 1: Das Beispiel der Funktionskontrolle des Eigenverbrauchsmanagers zeigt den Energiebezug der zentralen Warmwasserwärmepumpe in einem der Häuser an 7 Tagen über 52 Wochen. Man sieht deutlich das einmalige tägliche Nachladen des Wärmwasserspeichers in der Mittagszeit bei höchster Sonneneinstrahlung.

Herausforderung

Die Arealüberbauung Möriken ist eine Anlage mit vier "vollelektrischen", als Eigenverbrauchsgemeinschaft zusammengeschlossen, Mehrfamilienhäusern mit einem hohen Energiestandard. Der eingebaute Eigenverbrauchsmanager und die neuartige Strombörse dienen dazu, möglichst viel Strom aus den eigenen PV-Anlagen dieser Plusenergiehäuser auch in der eigenen Überbauung zu nutzen.

Für die Messüberwachung wurden über 70 Elektrozähler, einschliesslich derjenigen des Energielieferanten RTB, ausgewertet. Für die gesamte Auswertung wurden die Viertelstunden-Zählerstände in kWh aus der Datenbank der

dezentralen Kontrollrechner ausgelesen und aufbereitet. Die rund 2,5 Mio. Daten aus den Zählern wurden mit den Tarifdaten des Energielieferanten ergänzt und aufbereitet, so dass rund 5 Mio. Daten für die Statistik und Übersichts-darstellung zur Verfügung standen. Während die statistischen Auswertungen des Eigenverbrauchs oder der Autarkie als einzelne Zahlenwerte gut und einfach zu handhaben waren, zeigten sich bei der Kontrolle der Tarife und Kosten doch einige Darstellungs- und Interpretationsprobleme.

Exemplarische Darstellung des Vorgehens

Die gesamten Energiedaten wurden gruppenweise ausgewertet. Das heisst, pro Haus wurden die Energiebezüge für

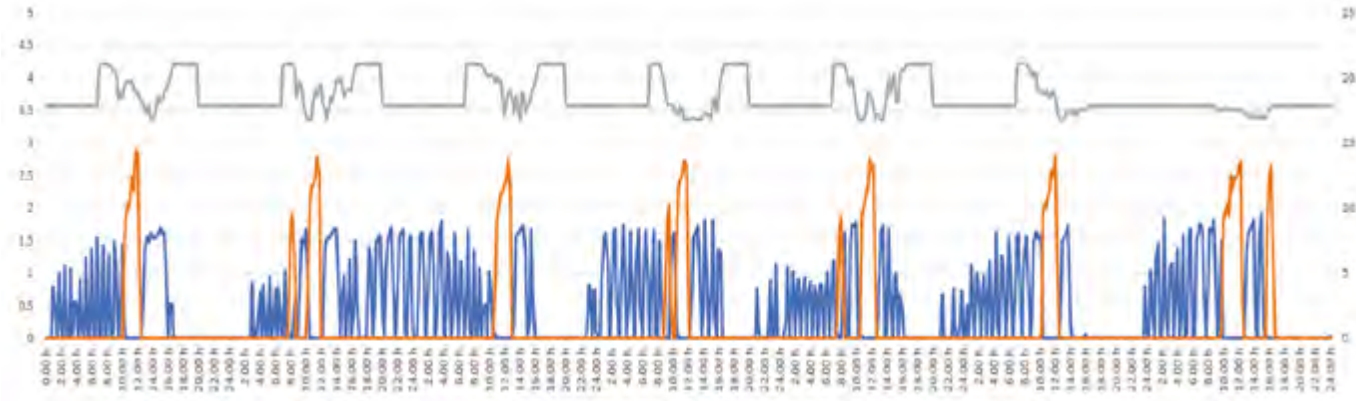


Abbildung 2: Die Graphik zeigt, als Beispiel, den Stromverbrauch einer Wärmepumpe (WP) während einer Winterwoche. Der obere Bereich (graue Kurve) ist der jeweils verrechnete Tarif mit der Skala rechts (Rp/kWh). Orange ist die WP im Warmwasserbetrieb und blau die WP im Heizbetrieb mit der Skala links (kWh / Viertelstunde).

die Heizung und das Warmwasser (Wärmepumpen) sowie die Energiemengen der Haushalte und der Allgemeinstrom erfasst und ausgewertet. Mittels graphischer Darstellungen wurden die Daten einem Plausibilitätscheck unterzogen. Sichtbar wurden dabei die Fehler in den Daten, die Sprünge und offensichtliche Spitzen oder Einbrüche in der Darstellung verursachten. Fehlende oder überflüssige Daten sowie offensichtlich falsche Daten wurden manuell korrigiert und so konnte der geschätzte Fehler gesamthaft unter 1%, also unter der Zählergenauigkeit gehalten werden.

Zur "Manipulier-Masse" des Eigenverbrauchsmanagers gehören im allgemeinen Bereich der Anlage die Wärmepumpen mit ihren Heiz- und Brauchwarmwasserspeichern. Um einen hohen Eigenverbrauch zu erzielen, wird in erster Linie das Warmwasser im Solarbereich des Tages erzeugt, aber auch der Heizbetrieb wird, soweit es die Speichergrössen zulassen, in den Tag hinein "geschoben". An schönen Tagen im Sommerhalbjahr kann dabei praktisch durchwegs vom PV-Tarif (ca. 17 Rp/kWh) profitiert werden. Haben wir aber weniger Sonnenscheindauer wie z.B. im Winterhalbjahr, dann wird meist der Mischtarif, wie im Diagramm sichtbar, zwischen PV- und Hochtarif (rund 17 bis 21 Rp/kWh) verrechnet. Dies führt oft dazu, dass der aktuelle Tarif (Mischtarif) höher ist als der Niedertarif (ca. 18 Rp/kWh). Ein Betrieb der Wärmepumpe für Warmwasser oder Heizung wäre dann im Niedertarifbereich günstiger.

Im Wohnungsbereich können durch die Bewohner die Geschirrspüler und Waschmaschinen für den Optimierungsbetrieb freigegeben werden, oder bei entsprechender Anzeige für Solarstrom, auch der Stromverbrauch manuell in den PV-Tarifbereich "geschoben" werden (Strombörse). Aber auch hier ergibt sich die gleiche Problematik wie bei den Wärmepumpen. Sommer und schönes Wetter garantieren den PV-Tarif, aber im Winter und bei schlechtem Wetter läuft die gestartete Waschmaschine plötzlich in einem Mischtarifbereich, der über dem Niedertarif liegt.

Für eine weitere Optimierung des Eigenverbrauchs ist dieser Effekt nur durch eine Änderung der Tarifstruktur zu lösen. Entweder muss der PV-Tarif wesentlich tiefer liegen, oder die Hoch- / Niedertarif Struktur muss angepasst werden.

Das nicht sehr spannende Diagramm des Warmwasser-Energieverbrauchs ist hier aufgeführt, um einen von mehreren Effekten zu zeigen, die bei den Messauswertungen sichtbar wurden und die üblicherweise wenig beachtet werden.

Das Diagramm suggeriert, dass der Warmwasserbedarf im Winterhalbjahr um bis zu Zweidrittel zugenommen hat. In Wirklichkeit ist aber der Warmwasserbedarf der Bewohner ungefähr gleich geblieben, aber der gleichzeitige Heizbetrieb kühlt kurzfristig die Erdsonden auf eine tiefere Temperatur ab. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Wärmepumpen schlechter und sie brauchen mehr Energie für die gleiche Warmwassermenge.

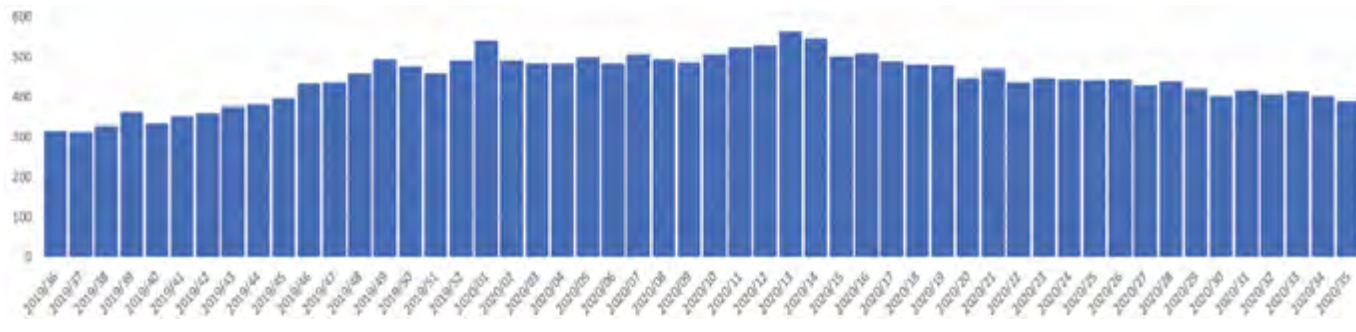


Abbildung 3: Das Balkendiagramm zeigt den gesamten Energieverbrauch in kWh für die Warmwasserproduktion in den 52 Wochen der Messperiode (4 Häuser / 4 Wärmepumpen).

Kurzfassung der Resultate

Die 52-wöchige Messkontrolle der "Stromproduktion" und der "Strombezüge" in der Anlage konnte zeigen, dass die geplanten und realisierten Steuerungen für die Eigenverbrauchsoptimierung und die Strombörse praktisch fehlerfrei funktionierten. Mit einer Eigenverbrauchsquote von etwas über 40% und einer Autarkie von 45% wurden, für eine Plusenergie-Überbauung, beachtliche Resultate erzielt. Die gewählte Tarifstruktur erlaubte es aber nicht, trotz dem gesteigerten Eigenverbrauch die Stromkosten für die Bewohner zu senken. Einerseits kann der starke Produktionsüberhang im Sommer zu wenig genutzt werden und andererseits ist die Nutzung des Solarstromes im Winter, bei nur teilweiser Deckung des Verbrauchs, dem Mischtarif unterworfen und dieser ist dann meist zu hoch, um Stromkosten zu sparen.

Ausblick

Das BFE hat für eine Weiterführung der Kontroll- und Optimierungsarbeiten eine zweite Phase des Projektes bewilligt. In einer weiteren einjährigen Mess- und Optimierungsphase sollen die Erkenntnisse der ersten Phase ergänzt werden. Da drei der vier Häuser des Areals ungefähr die gleiche Struktur aufweisen, ist unter anderem vorgesehen, in den drei Häusern parallel unterschiedliche Optimierungsszenarien durchzuführen, um damit Erkenntnisse bei gleichen Umweltdaten zu erhalten.

Projektwebsite

www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38727

Projektdokumentation

Die gesamte Projektbeschreibung ist in einem 107 Seiten starken Abschlussbericht unter dem folgenden Link einsehbar:
www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=66818&Load=true

Projektteam

Prof. Hans Gysin, hans.gysin@fhnw.ch

in Zusammenarbeit mit:

Smart Energy Engineering GmbH, Prof. Dr. David Zogg

(Überwachung und Optimierung)

Setz Architektur, Rapperswil

(Planung der Arealüberbauung)

RTB Möriken-Wildegg

(Stromlieferant, Messung und Abrechnung Stromkosten)

Bundesamt für Energie BFE

(Forschungsprogramm Energie in Gebäuden)

Ihr nächster Karriereschritt: Weiterbildung für Fach- und Führungskräfte

Innovative und erfolgreiche Unternehmen sind auf die Kompetenz und das Engagement ihrer Mitarbeitenden angewiesen, gut ausgebildete Fachleute sind daher äusserst gesucht. Mit einer Weiterbildung erhöhen Sie Ihre Chancen auf dem Arbeitsmarkt ganz entscheidend.

Die berufsbegleitenden Weiterbildungsangebote der Hochschule für Technik FHNW richten sich an Projektleiterinnen und -leiter sowie an Führungskräfte mit einer technischen Grundausbildung.

Projektaufgaben. Mit einer Weiterbildung an der Fachhochschule Nordwestschweiz sind Sie hervorragend gerüstet für den nächsten Karriereschritt in Ihrem Fachbereich.

Die Studiengänge sind modular aufgebaut und vermitteln neuestes Fachwissen und Managementkompetenzen. Sie können mit dem Diplom Master of Advanced Studies abgeschlossen werden und befähigen zur Übernahme von anspruchsvollen Führungs- und

Die Hochschule für Technik FHNW bietet verschiedene Veranstaltungen in Form von Kursen und Workshops an. Sie können bei uns massgeschneiderte Kurse in Auftrag geben. Nehmen Sie mit uns Kontakt auf – wir informieren Sie gerne.

Unser Weiterbildungsangebot umfasst die Fachgebiete

- Automation
- Computer Science
- Digital Industry
- Elektronik
- Einkauf und Beschaffung
- Giessereitechnik
- Kunststofftechnik
- Logistik
- Management und Führung
- Optometrie

Informationen und Infoabende

www.fhnw.ch/weiterbildung-technik

Kontakt

Hochschule für Technik FHNW
T +41 56 202 99 55
weiterbildung.technik@fhnw.ch



Condition Monitoring von Wälzlagern

Wälzlager sind ein zentrales Bauteil vieler mechatronischer Systeme. Ein Ausfall zu ungünstiger Zeit führt zu Produktionsausfällen und den damit verbundenen Folgekosten. Hiermit rückt die Erkennung des Lagerzustands in den Fokus vieler Anlagenbetreiber, die mit präventiver Wartung der Problematik Herr werden wollen.

Albert Zihlmann

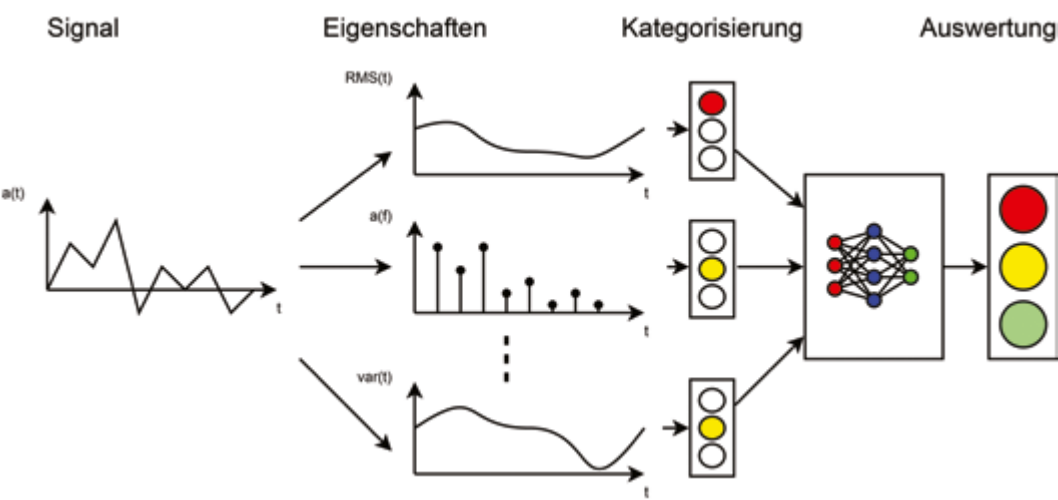


Abbildung 1: Vorgehen zum Erstellen maschinell gelernter Modelle

Ausgangslage

Bislang gestaltet sich die Analyse eines Lagerzustands sehr aufwendig und ist deshalb nur kritischen Anwendungen vorbehalten. Beispiele sind etwa Walzstrassen oder Druckmaschinen, wo sich der Einsatz der entsprechenden Gerätschaften lohnt. In diesem Projekt wird ein System entwickelt, das basierend auf Komponenten aus der Unterhaltungselektronik, den Zustand von Wälzlagern ohne Zutun von Fachkräften bestimmt. So soll die Hürde für einen flächendeckenden Einsatz verkleinert werden.

Zielsetzung

Die Zustandserkennung soll dabei komplett lagerunabhängig sein, geometrische und betriebliche Daten müssen nicht spezifiziert werden. Erkennt werden dabei drei Zustände:

- 'OK': Das Wälzlager kann bedenkenlos eingesetzt werden
- 'Warnung': Das Wälzlager kann noch eingesetzt werden, aber der Austausch ist angezeigt.
- 'Alarm': Das Lager erfüllt die Betriebsbedingungen nicht mehr und muss ersetzt werden, um Schäden an der Maschine zu vermeiden.

Vibrationsmessung

Wälzlagerschäden treten entweder plötzlich als Resultat eines Überlastfalls oder als kontinuierlicher Prozess als Folge des Verschleisses auf. Der Schaden äussert sich durch ein verschlechtertes Betriebsverhalten, dass sich durch stärkere Vibrationen, einer Temperaturerhöhung und Partikel im Schmierstoff äussert. In diesem Projekt wird eine Überwachung mittels Vibrationsmessung durchgeführt, da eine Überwachung von Partikeln im Schmierstoff nur mit einer Ölumlaufschmierung möglich ist und die Messung der Wälzlagertemperatur zu sehr von den Umweltbedingungen abhängig ist, wie Messungen im Feld ergaben. Die Vibrationen werden vertikal zur Rotationsachse gemessen. Versuche haben gezeigt, dass so das beste Signal-Rausch-Verhältnis erreicht wird und durch Messungen in horizontaler Richtung kein Mehrwert generiert werden kann. Die Vibrationen wurden in ersten Versuchen mit einem PCB Piezotronics M353B18, welcher mit 25 kHz abgetastet wird, gemessen. Da der Verschleissprozess sehr langsam ist, würde eine permanente Vibrationsmessung zu einer grossen Datenmenge führen.

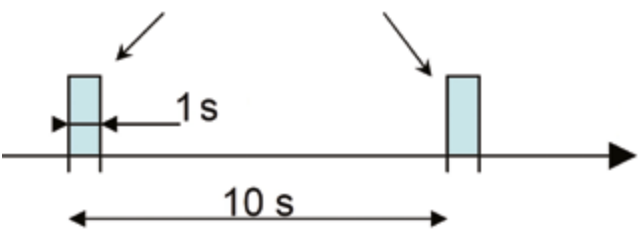


Abbildung 2: Messintervall Beschleunigungsmessung

Deshalb wird ein Messintervall analog zur Abbildung 2 angewendet, wobei alle zehn Sekunden während einer Sekunde gemessen wird.

Die Amplitude der Lagervibrationen sind zu Beginn der Einsatzdauer in der Einlaufphase leicht erhöht. Anschliessend bleiben sie lange auf tiefem Niveau, bis sich der Lagerzustand durch den Verschleiss zu verschlechtern beginnt und die Amplitude wieder kontinuierlich zunimmt.

Signalauswertung

Aus den gemessenen Vibrationen werden anschliessend für jedes Messintervall Eigenschaften bestimmt (Abbildung 1). Dabei handelt es sich um physikalische und statistische Kennwerte im Zeit- sowie Frequenzbereich. Drei Beispiele sind in der Abbildung 3 gegeben, wobei der zeitliche Verlauf des Crest-Faktors (Scheitelfaktor), der Kurtosis (Wölbung) sowie der prozentualen Veränderung des Spektrums zu einem Referenzspektrum dargestellt sind. Auffallend ist bei allen drei Verläufen der starke Anstieg am Ende der Lebensdauer. Dabei kann festgestellt werden, dass Eigenschaften im Zeitbereich früher eine Erhöhung aufweisen als jene im Frequenzbereich. Mit einer Auswahl an Eigenschaften kann anschliessend eine Zustandsanalyse mithilfe von maschinell gelernten Modellen durchgeführt werden.

Lagermodelle

Die maschinell gelernten Modelle basieren auf frei verfügbaren Daten, welche Temperatur- und Vibrationsmessungen über die gesamte Einsatzdauer von Wälzlagern beinhalten. Diesen Daten wurden anschliessend mit einer eigenen Methodik den drei Zuständen 'OK', 'Warnung' und 'Alarm', bei jedem Messintervall, zugeordnet. Anschliessend konnten die Modelle mit dem «Supervised Machine Learning» Ansatz trainiert werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 festgehalten. Insbesondere Tree- und k-Nearest-Neighbor-Modelle haben sich als tauglich herausgestellt.

Ausblick

Die vorgestellten Modelle müssen noch hinsichtlich ihrer Tauglichkeit im industriellen Umfeld unter realen Bindungen verifiziert werden. Besonders Anwendungen mit wechselnden Belastungen und Start/Stopp Betrieb stellen hier eine Herausforderung dar. Hierzu sind für das kommende Jahr Versuche im Feld sowie im Labor geplant. Bereits umgesetzt ist ein Feldmesssystem, welches automatisiert Vibrationen sowie Temperaturen einer Maschine erfasst und die Messdaten anschliessend über das 4G Netz auf einem Server ablegt.

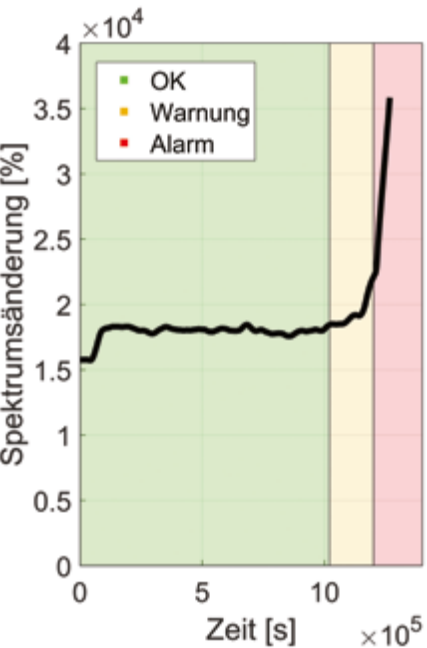
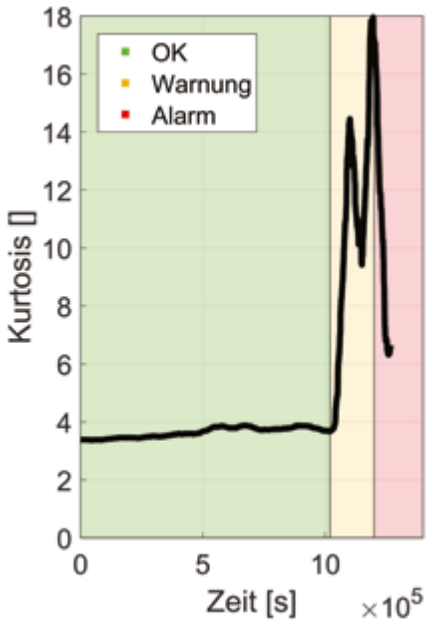
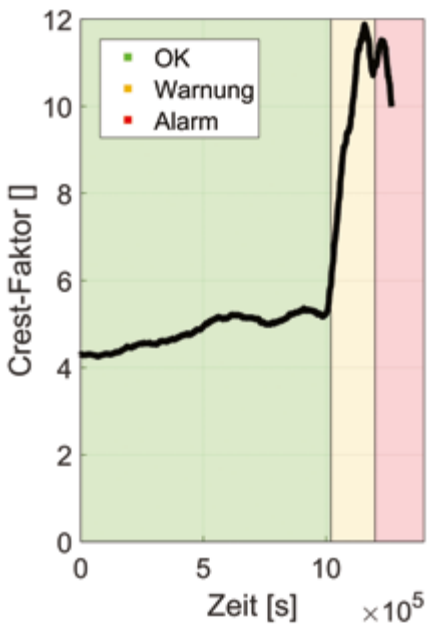


Abbildung 3: Darstellung des Crest-Faktors, der Kurtosis und der prozentualen Spektrumsänderung über die gesamte Lebensdauer des Wälzlagers.

Parameter	f ³	Tree		Bagged Tree		Support Vector Machine		k-nearest Neighbours	
		Wert	Note	Wert	Note	Wert	Note	Wert	Note
Macro F1 ¹	2	0.9966	5.9793	0.9982	5.9890	0.9926	5.9558	0.9980	5.9882
Weighted Macro F1 ²	2	0.9968	5.9808	0.9986	5.9918	0.9938	5.9626	0.9987	5.9924
Anzahl benötigter Eigenschaften	3	14	5.0580	14	5.0580	24	4.3333	13	5.1304
Implementation auf µ-Controller	1	-	6.0000	-	5.0000	-	4.0000	-	4.5000
Einfachheit	1	-	6.0000	-	5.5000	-	4.0000	-	5.0000
Notenschnitt		-	5.6771	-	5.5151	-	4.9819	-	5.4280

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher maschinell gelernter Modelle

1 Der F1 ist das gewichtete harmonische Mittel aus der Precision (Verhältnis von positiv vorausgesagten Werten zu der Gesamtanzahl positiver Voraussagen) und dem Recall (Verhältnis von positiv vorausgesagten Werten zu allen positiven Observationen) für jede der drei Klassen. Der Macro F1 mittelt diese drei F1 Werte.

2 Der weighted Macro F1 Score ist ähnlich wie der Macro F1 Score, gewichtet jedoch die drei Klassen abhängig von ihrer Häufigkeit.

3 Faktor mit welchem die einzelnen Noten gewichtet werden.

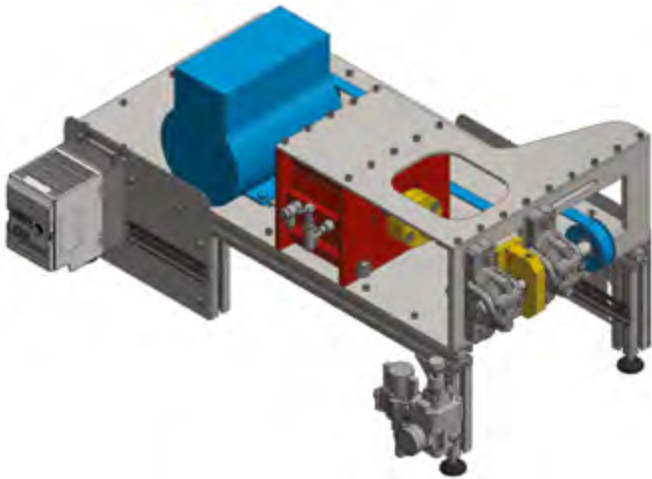


Abbildung 4: Versuchsaufbau für den beschleunigten Lagerverschleiss, gelb → Halter für Testlager, rot → Erzeugung Lagerbelastung mit einem pneumatischen Zylinder, blau → rotativer Antrieb

Für Laborversuche ist ein Testaufbau (Abbildung 4) in Arbeit, der es ermöglicht, Wälzlager beschleunigt zu verschleissen. Damit wird, von einer grösseren Anzahl Lager, bei unterschiedlicher Belastung, das Laufverhalten über die gesamte Lebensdauer untersucht.

Parallel dazu erarbeiten Studenten der Studiengänge Elektro- und Informationstechnik sowie Systemtechnik die Implementation der Auswertalgorithmik auf Komponenten aus der Unterhaltungselektronik und die Übertragung der Ergebnisse an höher geordnete Systeme.

- Projektteam**
- Projektleitung
Albert Zihlmann (albert.zihlmann@fhnw.ch)
- Wissenschaftliche Assistenten und MSE Studierende
Vincent Märki (vincent.maerki@fhnw.ch)
Silvio Kaufmann (silvio.kaufmann@fhnw.ch)
- Studenten Elektro- und Informationstechnik
Pascal Etterli (pascal.etterli@students.fhnw.ch)
Sandro Scherer (sandro.scherer@students.fhnw.ch)

- Studenten Systemtechnik
Pascal Gilgien (pascal.gilgien@students.fhnw.ch)
Tobias Trümpy (tobias.truempy1@students.fhnw.ch)

Ihre Weiterbildung in Automatisierungstechnik

MAS Automation Management – die Weiterbildung für angehende Projektleiter von Automationsprojekten und Ingenieurinnen, die ihr Fachwissen aktualisieren möchten.

Die Teilnehmenden profitieren dabei vom Netzwerk verschiedener Fachhochschulen und ihren Kompetenzen.

Nächster Start: 6. September 2021

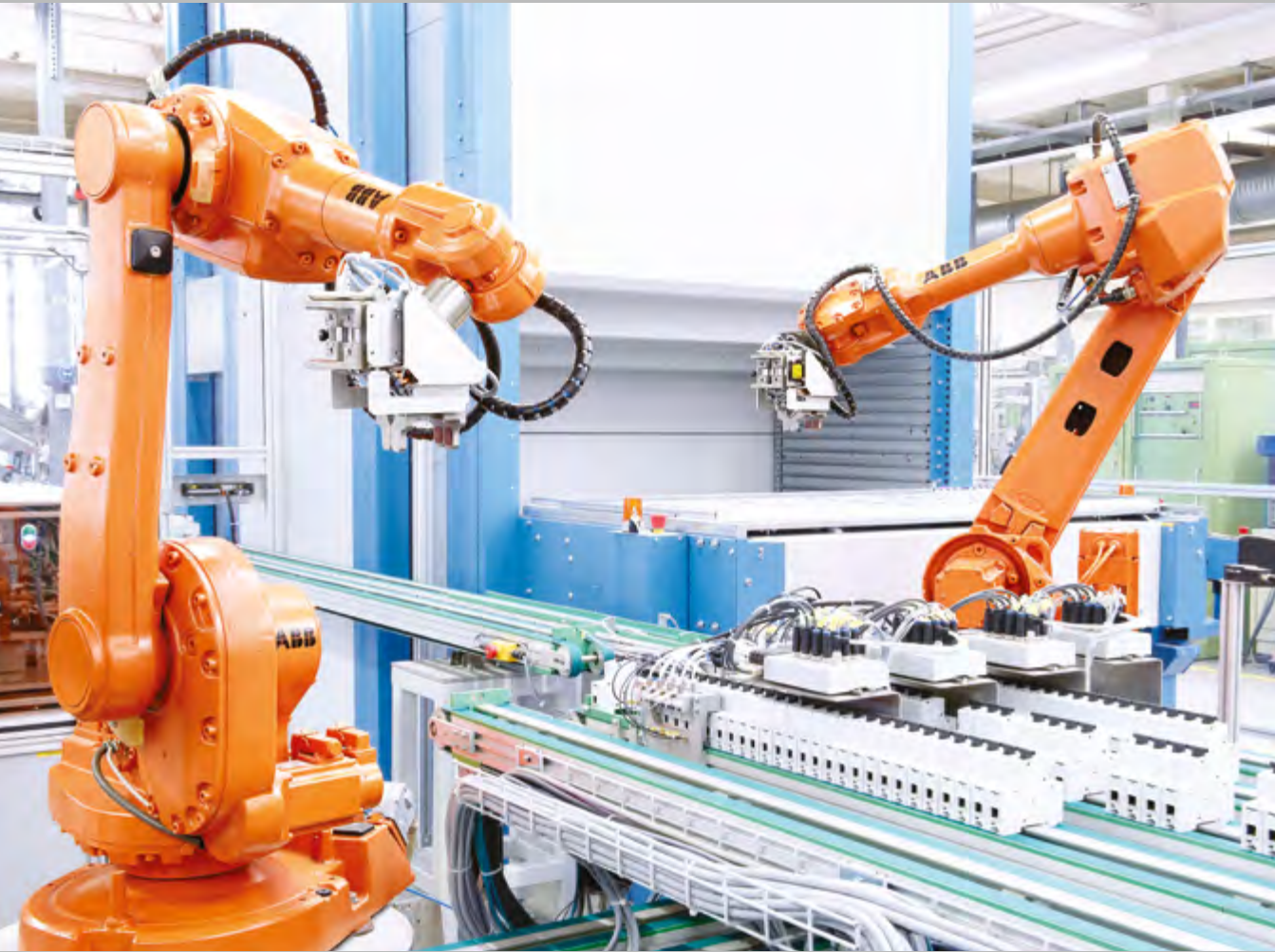
www.fhnw.ch/mas-automation

Kontakt

Jürg P. Keller, Studiengangleiter MAS Automation Management,
T +41 56 202 77 62, juerg.keller1@fhnw.ch
Patrizia Hostettler, Sekretariat,
T +41 56 202 72 18, weiterbildung.technik@fhnw.ch

Besuchen Sie unsere Infoveranstaltung - wir informieren Sie gerne:
Montag, 28. Juni 2021, 18.15 Uhr online
Mittwoch, 25. August 2021, 18.15 Uhr in Windisch
Mittwoch, 3. November 2021, 18.15 Uhr online

www.fhnw.ch/de/weiterbildung/technik/infoabend



Neue Verbindungstechnologie integriert in ein einmaliges Robotersystem und Machine Learning

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststofftechnik FHNW und den Firmen MultiMaterial-Welding und KVT Fastening wird der robotergestützte MultiMaterial-Welding Prozess mit Hilfe von Ultraschall-Energie entwickelt. Eine lückenlose Datenerfassung ermöglicht ausserdem eine Vorhersage der Verbindungsqualität.

Max Edelmann



Abbildung 1: Roboter mit Ultraschall-Schweisswerkzeug

Ausgangslage

Der Projektpartner MultiMaterial-Welding bietet eine innovative Verbindungstechnologieplattform für Leichtbau- und Multimaterialkonstruktionen an. Durch den MultiMaterial-Welding-Prozess werden ausserordentliche Verbindungsqualitäten für anspruchsvolle Anwendungsfelder geschaffen. In den bisher industrialisierten Anwendungen wurden simple Automatisierungskonzepte umgesetzt.

Für die Weiterentwicklung der Technologie und zur Leistungssteigerung für die Serienfertigung sind neue, innovative Systemkonzepte gefordert. Dadurch wird zudem ein flexiblerer Prozess angestrebt. Für die maximale Flexibilität im Entwicklungsprozess und im industriellen Einsatz wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststofftechnologie und dem Institut für Automation eine automatisierte Lösung mit Industrieroboter entwickelt. Durch den Robotereinsatz

werden einerseits die Anzahl der kontrollierbaren Systemparameter erhöht und andererseits neue Möglichkeiten geschaffen, indem das System komplexere Geometrien und unterschiedliche Verbindungstechnologien unterstützt.

Zielsetzung

Der Industrieroboter soll neben einer flexiblen Lösung für alle möglichen Geometrien auch eine umfassende Datenerfassung ermöglichen. Die Echtzeitdatenerfassung stellt eine wesentliche Herausforderung dar. Zu jeder einzelnen Verbindung werden diverse Prozessdaten erfasst und zu jedem Verbindungselement abgespeichert für die Prozessanalyse und -optimierung. Die erfassten Prozessdaten werden unter anderem für eine Machine Learning Pipeline von MM-Welding benutzt, um die Zugfestigkeit der Verbindung vorherzusagen. Dadurch entfallen aufwendige Testfälle, die oft auch mit der Zerstörung der Verbindung verbunden sind.



Abbildung 2: LiteWWeight® Pin (Quelle: MM-Welding)

LiteWWeight® Pins

Die Verbindungstechnologie im Fokus der Zusammenarbeit und Ausgangslage für den robotergestützten Prozess ist als LiteWWeight® bekannt. Dabei werden Kunststoffelemente, Pins, in Leichtbaustrukturen eingebracht. Die Herausforderung liegt dabei in der besonders widerstandsfähigen Sandwichbauweise mit einer Deckschicht aus Glasfaser verstärktem Kunststoff und einem teilweise gefüllten Inneren bestehend aus einer Wabenstruktur mit partieller Schaumstofffüllung (Abbildung 2). Ein typisches Einsatzfeld dieser Multi-Material-Verbindung ist in der Automobilbranche zu finden.

Ultraschall-Schweisswerkzeug

Für die hohen Anforderungen der Verbindungstechnologie wurde ein Ultraschallschweissssystem in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Kunststofftechnologie entwickelt. Das Ultraschall-Schweissystem besteht grundlegend aus 3 Teilen: Der Ultraschall-Stack (hellgrau) versetzt den Dübel in hochfrequente Schwingungen (20kHz). Mit dem Linearmotor (schwarz) wird der LiteWWeight®-Pin dann in das Sandwich-Panel hineingetrieben. Durch die lokale auftretende Reibungswärme schmilzt der LiteWWeight®-Pin lokal auf und stellt mit dem Kunststoff-Schaum im Inneren des Panels einen festen mechanischen Formschluss dar. Es entsteht eine ausserordentliche Verbindungsqualität, sofern die richtigen Prozessparameter der Ultraschallanregung und der Pin-Bewegung vorliegen. Während des gesamten Vorgangs wird der Kraft- und Bewegungsverlauf aufgezeichnet für die Analyse.

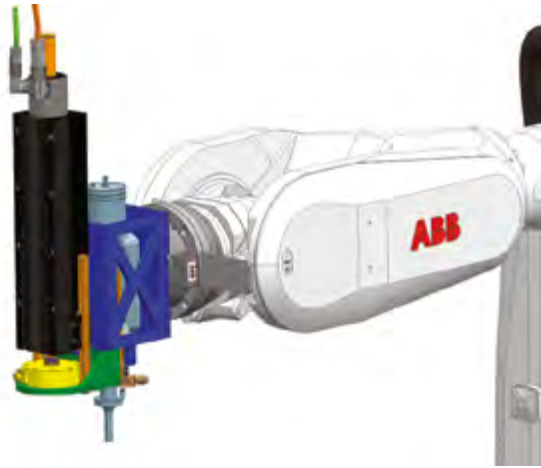


Abbildung 3: Ultraschall-Schweisswerkzeug

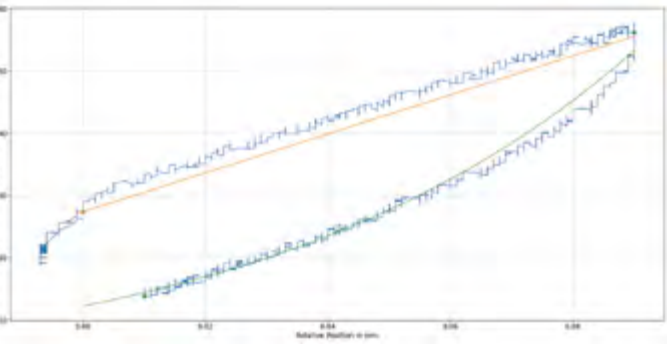


Abbildung 4: Lokaler Steifigkeitstest

Vorhersage der Zugfestigkeit

Bei einer klassischen Zugfestigkeitsprüfung wird die Verbindung durch den Test zerstört. Deshalb ist es erforderlich, die Zugfestigkeit aus den gesammelten Prozessdaten vorherzusagen. Die grösste Unsicherheit stellt dabei das Sandwichpanel dar. Dessen Füllung kann lokale Unregelmässigkeiten aufweisen, die den Schweissprozess stark beeinflussen. Im Rahmen einer Studie wurden über 200 LiteWWeight®-Pins mit unterschiedlichen Prozessparametern assembliert und die maximalen Einflussgrössen mittels statistischer Versuchsplanung erarbeitet.

Messung der Panel-Steifigkeit

Ein Lösungsansatz, um die lokalen Eigenschaften des Panels zu identifizieren, ist, vor jeder Schweissung einen Steifigkeitstest durchzuführen. Dafür wird das Panel mit einem Pin leicht zusammengedrückt. Zusammen mit der Kraftmessung ergibt sich so ein Kraft-Weg-Diagramm, welches das lokale Federverhalten des Panels beschreibt und Rückschlüsse auf dessen Eigenschaften zulässt.

Prozessdatenanalyse

Durch die Unregelmässigkeiten der Panels ergeben sich bereits während des MM-Welding Prozesses grosse Unterschiede. Dies ist zum Beispiel im Kraftverlauf in Abbildung 5 ersichtlich. Der LiteWWeight®-Pin mit der höchsten Zugfestigkeit (blau) zeigt eine andere Kurve als der LiteWWeight®-Pin mit der kleinsten Zugfestigkeit (orange). Zur Analyse wurden die Daten des Schweissprozesses ausserdem in vier verschiedene Phasen aufgeteilt:

1. Durchstossen der oberen Deckschicht
2. Bewegung durch den nicht gefüllten Teil des Panels
3. Ankommen an der unteren Deckschicht
4. Ausschalten des Ultraschalls, Abkühlvorgang

Aus den erfassten Daten kann so eine ganze Reihe aus Merkmalen extrahiert werden. Die Liste der Merkmale wurde zusätzlich noch mit den Hauptkomponenten der Kraft-, Weg- und Leistungsmessung erweitert. Mittels Feature Selection wurden dann aus dieser Liste die wichtigsten Merkmale zur Vorhersage der Zugfestigkeit herausgesucht.

So konnten einerseits ein Modell zur Vorhersage erstellt und andererseits wichtige Merkmale im Schweissprozess identifiziert werden.

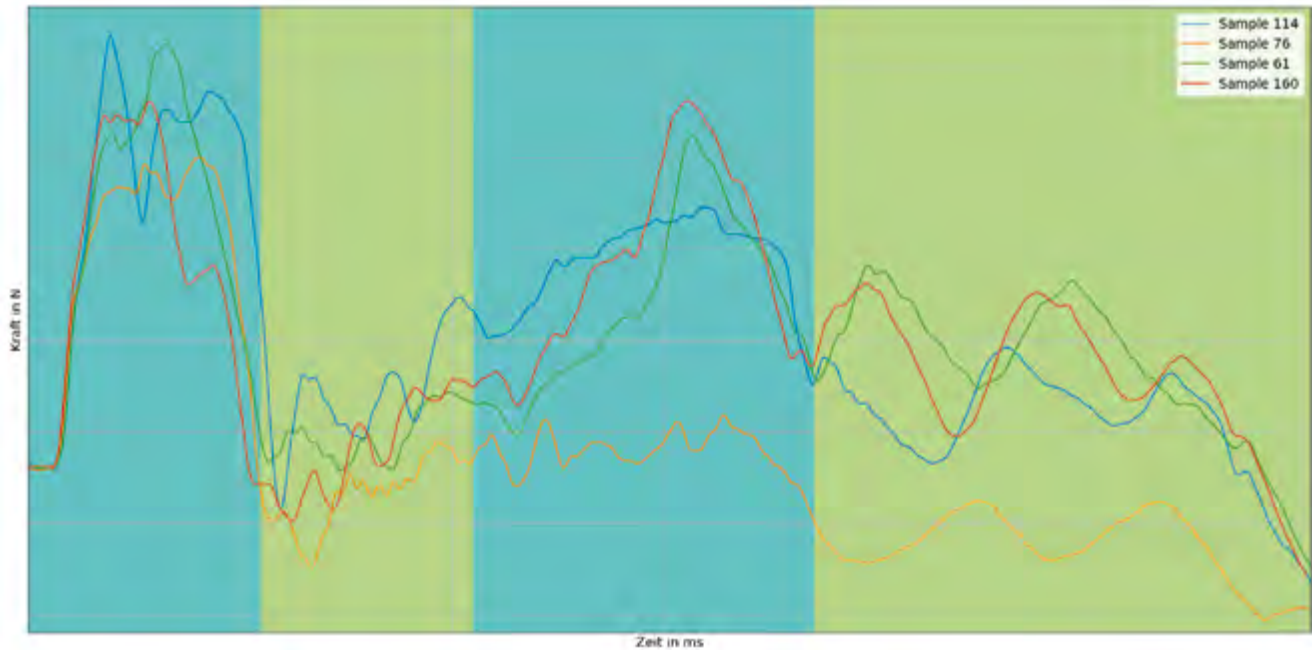


Abbildung 5: Gemessener Kraftverlauf während des Schweissvorganges

LabVIEW Interface

Damit die Versuchsanlage an der FHNW möglichst einfach zu bedienen ist, wurde ein LabVIEW Interface erstellt, welches die Kontrolle über die gesamte Anlage ermöglicht (Abbildung 6). Damit können ganze Versuchsreihen vorgeplant und später an der Anlage durchgeführt werden. Für statistische Auswertungen kann dabei jede Schweissung mit anderen Einstellungen durchgeführt werden. Die erfassten Daten werden dann nachbearbeitet und automatisch in die Datenbank des Umsetzungspartners hochgeladen, wo sie für das Machine Learning zur Verfügung stehen.

Ausblick

Neben der Verbindungstechnologie *LiteWWeight®* wird der Transfer auf weitere Verbindungstechnologien aus dem Portfolio von MM-Welding angestrebt und untersucht.

Im Rahmen der Zusammenarbeit wird zudem kontinuierlich die Machine Learning Plattform beim Umsetzungspartner weiterentwickelt und mit Daten von der Versuchsanlage an der FHNW unterstützt.

Projektteam

Projektleitung:
Max Edelmann (max.edelmann@fhnw.ch)

Wissenschaftliche Assistenten und MSE Studierende:
Patrick Read (patrick.read@fhnw.ch)
Tobias Zubler (tobias.zubler@fhnw.ch)
Wolfgang Fischer (wolfgang.fischer@fhnw.ch)

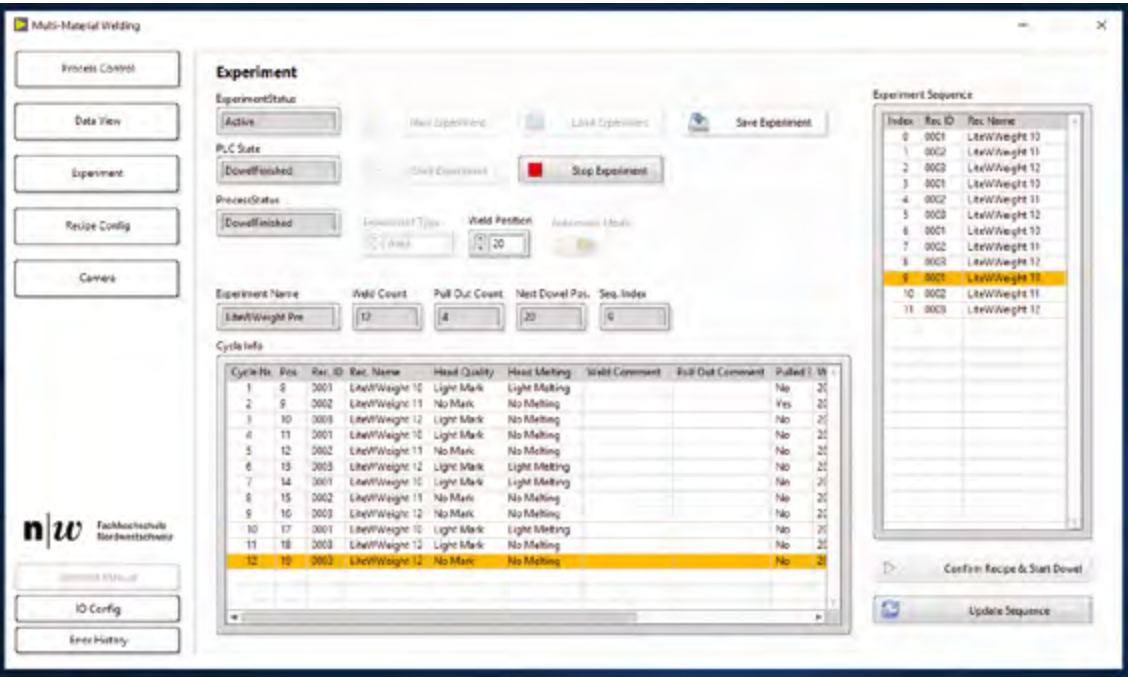


Abbildung 6: LabVIEW Interface zur Bedienung

Mit dem Bachelor-Diplom zu neuen Karriereperspektiven

Die praxisorientierte Ingenieur-Ausbildung an der FHNW bereitet die Studierenden hervorragend auf den Berufseinstieg vor und eröffnet neue Karriereperspektiven. Dabei zeichnet sich ein neuer Studententrend ab: Immer mehr junge Frauen und Männer wählen das berufsbegleitende Studium – davon profitieren auch die Arbeitgeber.

Die Informatikerinnen und Informatiker sowie die Ingenieurinnen und Ingenieure der FHNW sind bei Unternehmen in Industrie und Wirtschaft äusserst gesucht.

Einblicke in die Unternehmenswelt

Die praxisorientierte Ausbildung an der FHNW ist ein Erfolgsmodell. Ab dem ersten Semester arbeiten die Studierenden an Projekten und lernen im Laufe der Ausbildung verschiedenste Unternehmen und Branchen kennen, eine ideale Vorbereitung auf ihren Berufseinstieg.

Neuer Studententrend – auch in klassischen Disziplinen

Nebst dem klassischen Vollzeitstudium entscheidet sich eine zunehmende Zahl von jungen Frauen und Männern für die berufsbegleitende Ausbildung.

Job und Studium kombinieren – unabhängig bleiben

Das Ausbildungskonzept ermöglicht inhaltlich und zeitlich eine individuelle Gestaltung des Studiums. Für viele Studierende ist die Ergänzung von Theorie und Praxis ideal. Sie bleiben finanziell unabhängig und können das Erlernte direkt in ihrem Unternehmen umsetzen.

Arbeitgeber profitieren gleich mehrfach

Die Arbeitgeber profitieren gleich mehrfach vom Bachelor-Studium ihrer Mitarbeitenden: Das Know-how bleibt dem Betrieb erhalten und im Rahmen von Studierendenprojekten können Aufgabenstellungen aus dem Unternehmen bearbeitet werden. Und fast immer sind berufsbegleitend Studierende nicht nur sehr belastbar, sondern hoch motivierte Mitarbeitende, die dem Unternehmen auch über den Studienabschluss hinaus erhalten bleiben.

Zentral studieren auf dem neuen Campus Brugg-Windisch

Mit Ausnahme der Optometrie (Olten) und Mechatronik trinational (Muttenz) werden die Bachelor-Studiengänge auf dem neuen Campus Brugg-Windisch FHNW, direkt neben dem Bahnhof SBB, durchgeführt. Die Studierenden profitieren vom anregenden Campus-Ambiente mit seiner modernsten Lernumgebung sowie von vielen sportlichen und kulturellen Angeboten.

www.fhnw.ch/technik

Technik-Infotage in Brugg-Windisch

Jeweils im März und November: www.fhnw.ch/technik/infotage



Das Studium als Investition in die Zukunft

«Mit dem Studium an der FHNW erhalte ich ein breitgefächertes Wissen und kann mein Know-how spezifisch am Arbeitsplatz anwenden.»

André Renggli, Student berufsbegleitendes Studium, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik; Projektleiter, Chestonag Automation AG, Seengen



Mein Studium, meine Faszination

«Die Studienrichtung Systemtechnik wählte ich, weil mich Automation schon immer fasziniert hat. Die Ingenieurausbildung bot mir einen vertieften Einblick in dieses Gebiet und in verschiedene andere Technologien.»

Silvia Walti, Diplomandin Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik mit Vertiefung Automation

Wärmepumpenprüfstand für industrielle Wärmepumpen

Für die Untersuchung und Optimierung von industriellen Wärmepumpen steht im Laborgebäude der Hochschule für Technik FHNW in Brugg-Windisch ein Prüfstand zur Verfügung. Der Prüfstand wurde im Rahmen mehrerer Innosuisse-Projekte mit der Firma Viessmann Schweiz AG aufgebaut.

David Zogg

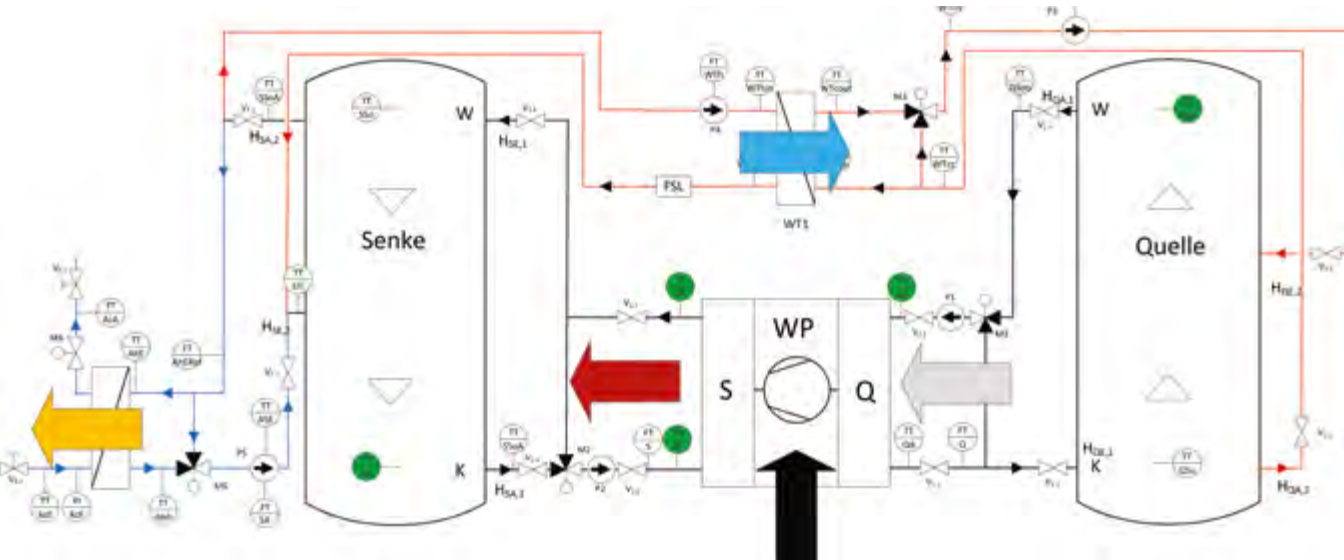


Abbildung 1: R&I-Schema des Prüfstandes (Pfeile: Wärmeströme im Betrieb)

Ausgangslage

Industrielle Wärmepumpen werden in grösseren Anlagen zur Aufbereitung von Warmwasser und Prozesswärme verwendet. Der Prüfstand dient zur systematischen Untersuchung von Wärmepumpen unter verschiedenen Betriebs-Szenarien und Fehlersituationen. Im Rahmen mehrerer Innosuisse-Projekte wurden innovative Online-Diagnosemethoden zur Fehlerfrüherkennung entwickelt [1]. Der Prüfstand dient aber auch der Ausbildung von Studierenden im Bereich Energie- und Umwelttechnik und Systemtechnik.

Prüfstand

Der Prüfstand ist für Wärmepumpen bis zu einer maximalen Heizleistung von ca. 100kW ausgelegt (Abbildung 1). Die Wärmequelle und -senke werden durch zwei Tanks mit je 1000 Liter Inhalt zur Verfügung gestellt. Quellen-seitig zirkuliert ein Glykol-Gemisch für tiefe Temperaturen, während Senken-seitig Wasser zirkuliert. Während des Betriebs wandelt die Wärmepumpe die elektrische Leistung (schwarzer Pfeil) in Wärme, welche an die Senke abgegeben wird (roter Pfeil). Von der Quelle wird dabei Wärme aufgenommen (grauer Pfeil). Ein Wärmetauscher dient zur Wärmespeicherung zwischen warmer und kalter Seite (blauer

Pfeil). Die überschüssige Wärme wird an einen externen Kühlkreislauf abgegeben (gelber Pfeil).

Emulation

Mit einer Kombination aus Simulation und Hardware-in-the-Loop können verschiedene realistische Szenarien gefahren werden. Somit ist es z.B. möglich, auf Seite Wärmequelle ein simuliertes Erdsondenmodell laufen zu lassen. Auf Seite Wärmesenke können verschiedene Wärmeabgabe- oder Gebäudemodelle gefahren werden. Die Daten der Simulation können in Echtzeit auf dem Prüfstand vorgegeben werden, so dass die Wärmepumpe in ein reales Betriebsumfeld eingebunden ist. Es ist auch möglich, Daten aus dem Feld auf dem Prüfstand zu rekonstruieren, so dass typische Betriebssituationen nachgebildet werden können.

Fehlersimulationen und Fehlerdiagnose

Mit obigen Möglichkeiten können am Prüfstand auch kritische Situationen im Betrieb auf sichere Weise untersucht werden. Dazu gehören typische Fehlerfälle an der Wärmepumpe oder in der hydraulischen Einbindung. Zur Untersuchung Wärmepumpen-interner Fehler wurde der Kältekreislauf modifiziert. So können typische Fehler wie Verschmutzungen von Wärmetauschern, Undichtigkeiten von Kompres-

soren, Blockaden von Expansionsventilen, usw. untersucht werden. Auch externe Fehler in der Hydraulik können abgebildet werden, z.B. zu tiefe oder zu hohe Durchflüsse. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden auch innovative Algorithmen zur Fehlerfrüherkennung und Diagnose entwickelt [1]. Diese dienen dem Hersteller zur Online-Optimierung des Betriebs seiner Anlagen im Feld.



Abbildung 2: Prüfstand im Laborgebäude

Vollständige Automatisierung

Der Prüfstand ist hochgradig automatisiert, so dass mehr-tätige Messkampagnen vollständig autonom durchgeführt werden können. Über einen Remote-Zugriff kann der Prüfstand bequem fernüberwacht werden. Die verschiedenen Ebenen der Automationspyramide sind in Abbildung 3 dargestellt. Auf der Prozessleitebene läuft die Software LabVIEW® von National Instruments. Der Vorteil dieser Software ist die effiziente Entwicklung von Modellen, Prüfabläufen und Benutzerschnittstellen, so dass schnell

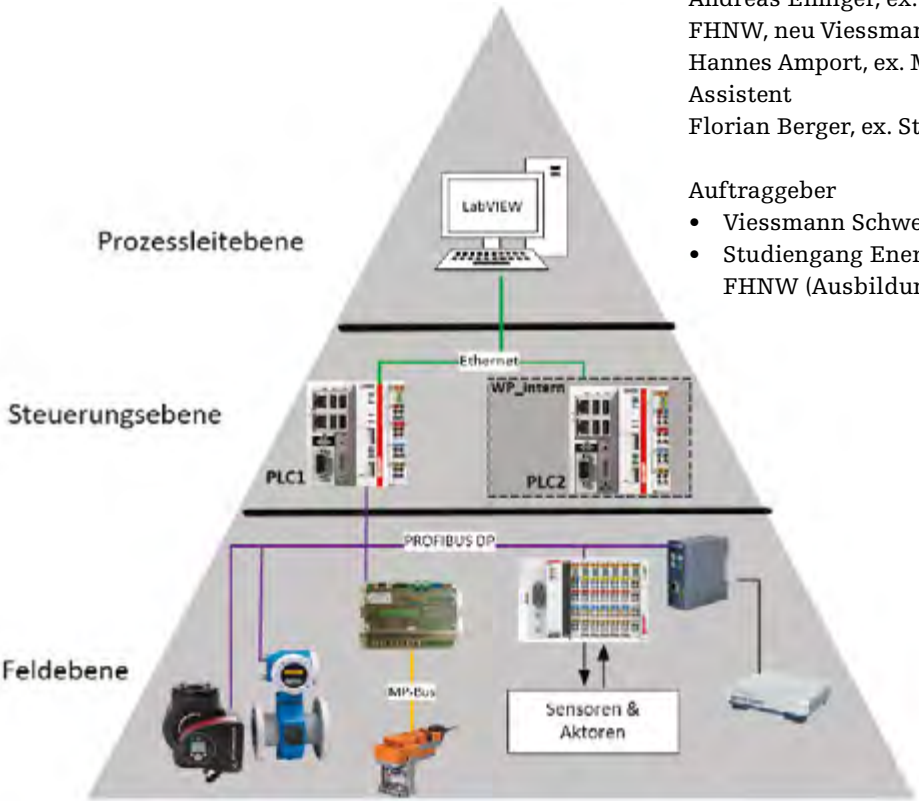


Abbildung 3: Automationspyramide des Prüfstandes

auf veränderliche Vorgaben im Labor reagiert werden kann. Auf der Steuerungsebene läuft ein industriell bewährtes PLC-System von Beckhoff®, welches zuständig ist für den robusten Dauerbetrieb des Prüfstandes. Über einen Realtime-Bus (PROFIBUS) werden die Feldgeräte angesteuert und die Sensordaten ausgelesen.

Ausbildung von Studierenden

Neben dem industriellen Einsatz im Rahmen von Innosuisse-Projekten werden am Prüfstand auch studentische Arbeiten zu Ausbildungszwecken durchgeführt. Dazu gehören Studierendenprojekte, Laborübungen sowie Demonstrationen im Verlaufe des Unterrichts. Aufgrund der Remote-Einbindung können die Daten «live» in den Hörsaal übertragen werden. Damit können unsere zukünftigen Ingenieure hautnah in das zukunftssträchtige Feld von innovativen Wärmepumpensystemen eingeführt werden.

Referenzen

- [1] A. Elmiger, „Zustandsbasierte Wartung von Wärmepumpen mit quasistationären Methoden“, FHNW Institut für Automation, Windisch 2019.
- [2] F. Berger, „Schlussdokumentation P6 Automatisierung eines Wärmepumpen-Prüfstandes“, FHNW Institut für Automation, Windisch 2017.
- [3] H. Amport, „Auslegung und Aufbau eines Wärmepumpen-Prüfstandes“, FHNW Institut für Automation, Windisch, 2017.
- [4] D. Treyer und D. Zogg, „Model and Expert Knowledge Based Fault Diagnosis for a Heat Exchanger“, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Nice (F) 2013.

Projektteam

Prof. Dr. David Zogg, Dozent, Projektleiter, david.zogg@fhnw.ch
Andreas Elmiger, ex. Wissenschaftlicher Mitarbeiter FHNW, neu Viessmann Schweiz AG
Hannes Amport, ex. Masterstudent und Wissenschaftlicher Assistent
Florian Berger, ex. Student Systemtechnik

Auftraggeber

- Viessmann Schweiz AG (Innosuisse-Projekte)
- Studiengang Energie- und Umwelttechnik, FHNW (Ausbildung)

Berührungslose Energie- und Datenübertragung

In einem aktuellen Innosuisse Innovationsprojekt stellt sich die Herausforderung, dass Energie und Daten berührungslos auf ein schnell rotierendes Werkzeug übertragen werden müssen. Um eine wartungsintensive Schleifringlösung zu umgehen, wird ein induktiver Energie-Übertrager mit integrierter optischer Datenüberübertragung entwickelt. Das Neuartige an dieser Lösung ist, dass die Spannung am Ausgang lastunabhängig und ohne Rückkopplung konstant gehalten werden kann. Dies reduziert die Komplexität, verbessert die Verlässlichkeit des Systems und schränkt den Datenübertragungskanal nicht ein.

Pascal Schleuniger

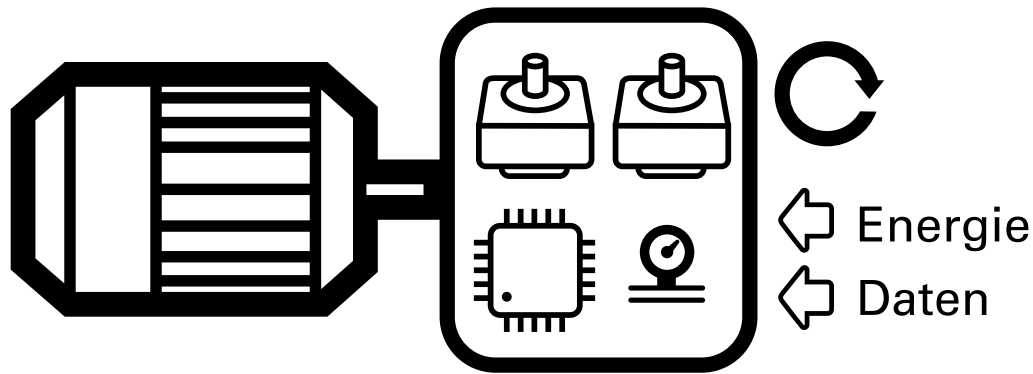


Abbildung 1: Anwendung der berührungslosen Energie- und Datenübertragung

Ausgangslage

Im Zuge von Industrie 4.0 werden rein mechanische Maschinen vermehrt mit Mess- und Servotechnik ausgerüstet. Während sich dies in stationären Systemen meist problemlos realisieren lässt, gibt es auch Anwendungen, welche sich auf einem rotierenden Aufbau befinden und damit eine berührungslose Energie- und Datenübertragung benötigen. Es bieten sich Lösungen wie Schleppketten oder Schleifringe an, welche jedoch wartungsintensiv und störungsanfällig sind. Für die Datenübertragung kommen zudem keine drahtlosen Kommunikationsstandards in Frage, da diese im industriellen Umfeld nicht immer problemlos funktionieren. Deshalb entwickelt das Institut für Automation einen induktiven Energie-Übertrager mit integrierter optischer Datenübertragung, welcher wartungsfrei und zuverlässig im industriellen Umfeld eingesetzt werden kann.

Induktive Energieübertragung ohne Rückkopplungspfad

Die Energieübertragung ist mit zwei Ferritkernen aufgebaut, welche auf der Primärseite mit einer H-Brücke und einem

LLC-Schwingkreis beschaltet ist. Auf der Sekundärseite ist ein gesteuerter Gleichrichter angeschlossen. Der Übertrager wurde anhand einer Feldsimulation dimensioniert und verfügt auf der Sekundärseite über einen Mittelabgriff, um einen möglichst verlustarmen Betrieb zu gewährleisten.

Bei kommerziellen Dreh-Übertragern wird typischerweise die Ausgangsspannung gemessen; diese Daten werden auf die Primärseite geführt und das System auf eine konstante Ausgangsspannung geregelt. Der hier vorgestellte Übertrager verzichtet auf eine Rückkopplung und misst dafür den Strom, der in die Energieübertragungseinheit hineinfließt. Diese Messdaten werden in einem FPGA erfasst und ausgewertet, so dass die Frequenz der H-Brücke dynamisch der Last am Ausgang angepasst werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, die Ausgangsspannung lastunabhängig auf weniger als 2% Abweichung konstant zu halten.

Das aktuelle System ist auf 300W Ausgangsleistung ausgelegt und erreicht über einen weiten Bereich einen Gesamtwirkungsgrad von 95%.

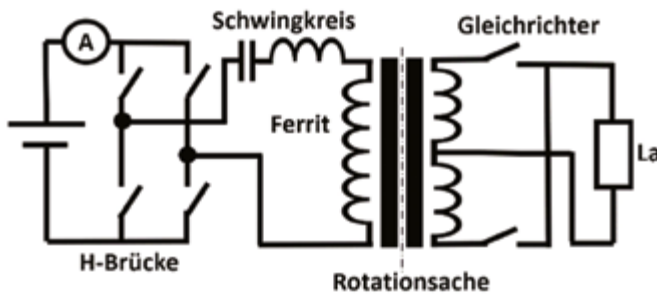


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der berührungslosen Energieübertragung



Abbildung 3: Berührungslose Energie- und Datenübertragungseinheit

Optische Datenübertragung im Inneren des Ferritkerns

Die konkrete Anwendung sieht eine mechanische Achse durch die Ferritkerne vor, weshalb der Kommunikationspfad im Ferritkern realisiert werden muss. Die bidirektionale Datenübertragung wird optisch mittels LEDs und Photodioden realisiert. Die zwei Datenübertragungseinheiten sind im jeweiligen Ferritkern untergebracht und verfügen über je fünf Sendedioden, welche im Kreis angeordnet sind. Damit kann die Kommunikation während der Drehbewegung aufrechterhalten werden.

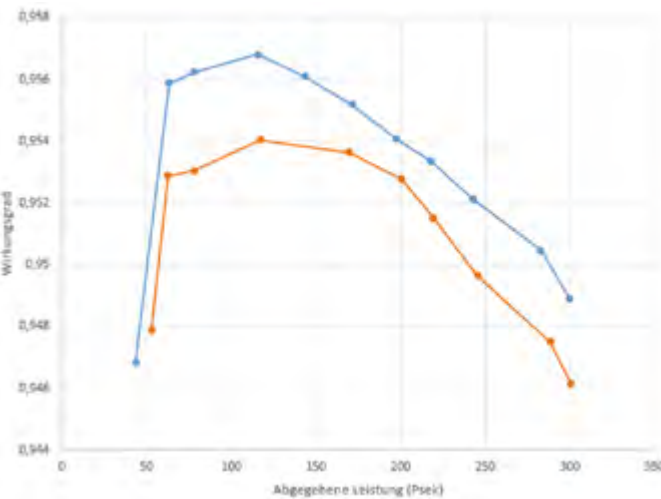


Abbildung 4: Wirkungsgrad ohne Datenübertragung (blau) und mit Datenübertragung (orange)

Die Kommunikations-Leiterplatten im Inneren der Ferritkerne sind starken elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt. Damit stellt sich das Problem, dass die sensitiven Signale der Photodiodenverstärkerschaltung bestmöglich abzuschirmen sind. Kupferflächen wiederum führen zu Wirbelstromverlusten, weshalb abschirmende Kupferflächen auf der Leiterplatte möglichst zu vermeiden sind. Schlussendlich ist es gelungen, die Kommunikationsleiterplatten so zu optimieren, dass diese im Inneren der Ferritkerne zu einem minimalen Wirkungsgradverlust von 0.2% führen. Die entwickelte bidirektionale Datenübertragungseinheit erreicht eine Datenrate von 5Mbit/s im Halb-Duplex Betrieb.

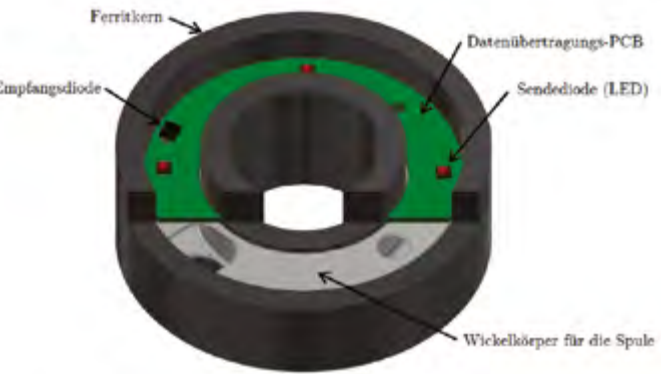


Abbildung 5: Schnitt durch einen Ferritkern der berührungslosen Energie- und Datenübertragungseinheit

Fazit und Ausblick

Die entwickelte Übertragungseinheit erlaubt es, zuverlässig und verlustarm Energie und Daten berührungslos auf ein rotierendes Werkzeug zu übertragen. Der Lösungsansatz der Energieübertragung ohne Rückkopplung hat sich bewährt und wird auf einer ersten Testanlage eingesetzt. Der Ansatz ist skalierbar und lässt sich auf Koppler mit beliebigen Ferritkernen einsetzen.

Die Unterbringung der Kommunikationseinheit im Inneren der Ferritkerne stellte eine grosse EMV Herausforderung dar, welche mit viel Aufwand gemeistert wurde.

Projektteam

Prof. Dr. Pascal Schleuniger, Projektleiter, pascal.schleuniger@fhnw.ch
Elias Lukas Rotzler, MSE Student, eliaslukas.rotzler@fhnw.ch

Digitalisiertes One Shift Battery Tool

Das Innosuisse Projekt "One Shift Battery Tool" wurde gegen Ende Jahr erfolgreich abgeschlossen. Der realisierte Prototyp des Tools ist der beste Beweis für die erreichten Ziele. Entstanden ist ein professionelles Handschleifgerät mit mehr als 1 kW Leistung, Akkubetrieb und ständiger kontaktloser Nachladung der Akkus in den Arbeitspausen. Dass für ein solches Gerät praktisch nur Li-Ion Akku und ein bürstenloser Permanentmagnet-Motor in Frage kommen, ist Stand der Technik. Was diese schlagwortartigen Begriffe aber alles nach sich zogen, füllte das Innosuisse Projekt.

Hans Gysin

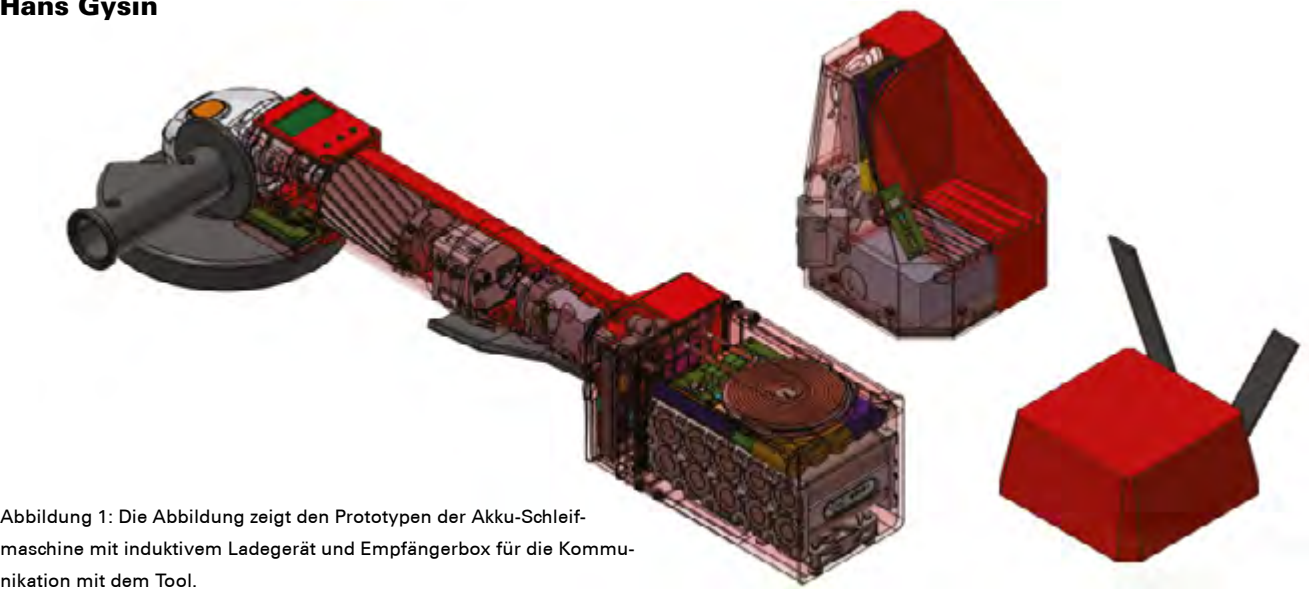


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt den Prototypen der Akku-Schleifmaschine mit induktivem Ladegerät und Empfängerbox für die Kommunikation mit dem Tool.

Problematik

Professionelle Handwerkzeuge kommen bezüglich ihrer Handhabung und Sicherheit zunehmend unter Druck. Druckluftschläuche sowie auch elektrische Anschlusskabel werden von modernen Betrieben wie die Automobil- oder Flugzeugindustrie immer weniger geduldet. Im Bereich von Montagen ist ihr Einsatz zum Teil sogar verboten.

Für die Otto Suhner AG, als Spezialist für Druckluftwerkzeuge, führte dies zu einem Strategiewechsel. Zukünftig sollen somit auch ihre Werkzeuge mit einem akkugespeisten Elektroantrieb ausgerüstet werden. Das Innosuisse Projekt "One Shift Battery Tool" war der erste Schritt zur Ablösung der Druckluft mit Akkus in diesem Werkzeugbereich.

Das damals gestartete KTI-Projekt beinhaltete noch die Vorstellung, ohne Akkuwechsel eine Schicht lang zu arbeiten. Vom Energiebedarf her gesehen blieb dies ein "frommer Wunsch". Selbst mit modernsten Akkus müsste sich der Benutzer einen Rucksack mit einigem Gewicht umhängen, um die 8 Stunden

Schicht mit Vollbetrieb zu überstehen. Die Lösung lag deshalb in der effizienten, schnellen und berührungslosen Nachladung des Akkus in jeder Arbeitsunterbrechung.

Resultate

Nach dem Abschluss eines Projektes sind es vor allem die Resultate, die interessieren. Um die geforderte Vertraulichkeit zu gewährleisten, muss auf die Bekanntgabe detaillierter, spezifischer Ergebnisse verzichtet werden. Aber auch ohne genaue "Leistungsangaben" und -merkmale kann die Komplexität der Aufgaben und deren Lösungen aufgezeigt werden. Ein bürstenloser Permanentmagnet-Motor als Antriebsaggregat mit mehr als einem kW Leistung hat heute, wie man sieht, im Handgriff Platz (5).

Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass eine anspruchsvolle Steuer- und Leistungselektronik (Hard- und Software) für die Steuerung und Regelung eines solchen BLDC-Motors nötig ist. Bedieneinheiten mit Display und Tasten gehören ebenfalls zu moderner Steuerungselektronik

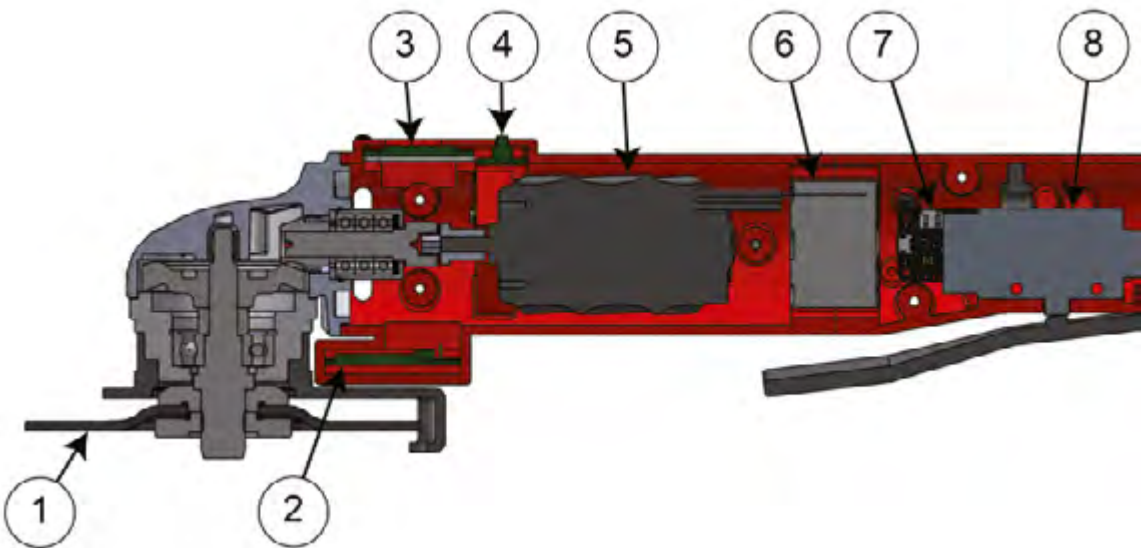


Abbildung 2: Der Querschnitt durch den vorderen Teil des Schleifgerätes (Prototyp) gibt einen Einblick in die Grössenverhältnisse von verschiedenen Komponenten.

(3 + 4). Auch auf aktive und geregelte Lüfter für die Kühlung des Motors, der Antriebselektronik und der Akkus kann bei solchen Leistungen nicht verzichtet werden (6). Aus Sicherheitsgründen und unter Berücksichtigung von Vorschriften, müssen aber auch konventionelle Bauteile, wie z.B. der Hauptschalter (8) weiter Verwendung finden.

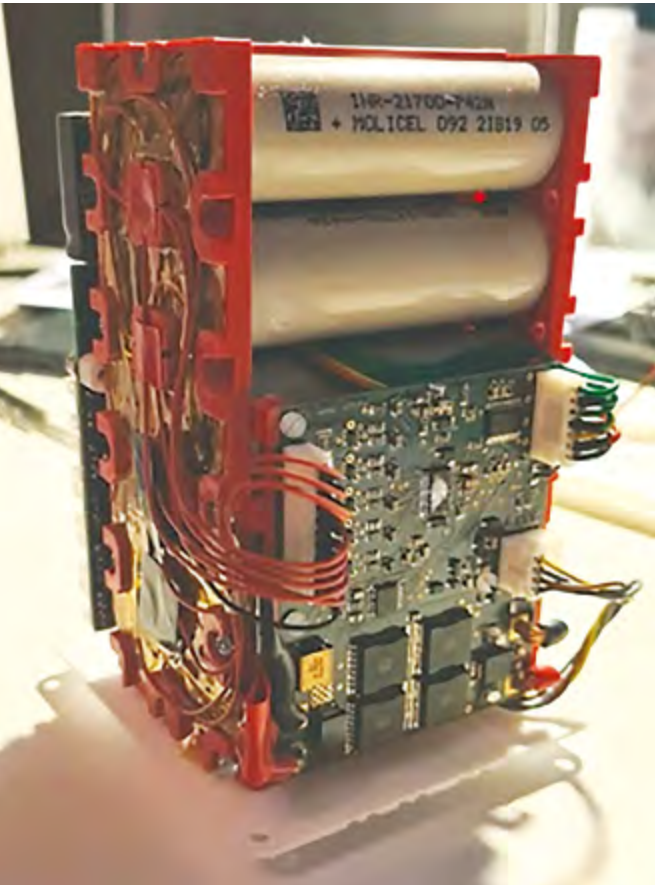


Abbildung 3: Die Innenansicht des Akkublocks zeigt dessen Komplexität. Neben einem Akkuaufbau, der die Kühlung ermöglicht, müssen auch Batteriemanagement und induktive Ladung mit allen Sicherheiten und Überwachungen eingebaut werden. Induktive Ladung und Kühlung gehören ebenso wie das Batteriemanagement in den Akkublock, weil eine Ladung der Akkus, auch getrennt vom Tool, ebenfalls eine Bedingung war.

Nicht in der Abbildung 2 ersichtlich, ist die "Energiezentrale" mit den 2170er Li-Ion Zellen, dem Batteriemanagement, der Empfängerseite der induktiven Ladung und dem ganzen Kühlkonzept für die Akkus. Die Abbildung 3 zeigt einen Einblick in den Akkublock mit den erwähnten Subsystemen. Die Wahl einer 36 VDC - Spannung für das Tool war eine Entscheidung für die Zukunft. Sie lässt aber der Zusammenschaltung von Li-Ion Akkus wenig Spielraum und erfordert ein entsprechend aufwändiges Batteriemanagement. Bei der Wahl der Akkus wurde auf einen Typ mit noch weniger Verbreitung, aber mit besseren Zukunftsaussichten für verbesserte Technologien gesetzt. Kommunikationselektronik (7) kann heute fast überall platziert werden. Die Funkmodule sind klein und lediglich ihre Versorgung und die Antennenplatzierung tangieren das Design des Tools.

Ausblick

Das vorgestellte Tool ist soweit gediehen, dass nur eine ausgedehnte Testphase mit mehreren Prototypen Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen kann und die Arbeiten zur Erreichung der Serienreife gestartet werden können. Dabei steht die Hardware und damit verbunden die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Die Festlegung der Datenerfassung und der Kommunikation vom Tool bis zur Servicestelle, wird kaum in den ersten Geräten schon definitiv berücksichtigt sein. Ein vorgesehenes Nachfolgeprojekt im Bereich der Sensorik und der Kommunikation bei solchen Tools kann hier noch etwas Klarheit schaffen.

Projektteam

Prof. Hans Gysin, Dozent, hans.gysin@fhnw.ch
Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation, roland.anderegg@fhnw.ch
Stefan Ineichen, Masterstudent, Wissenschaftlicher Assistent, stefan.ineichen@fhnw.ch

Otto Suhner AG:

Jürg Beutler, Manager Engineering
Raphael Schleuniger, Product Designer
Stefan Wiedemeier, Product Designer

EMV optimierte Kunststoffgehäuse

Im Rahmen eines Innosuisse Innovationsprojektes forschen die Institute für Automation und Kunststofftechnik zusammen mit der Firma Wagner AG an EMV optimierten Kunststoffgehäusen. Ziel dieses Projektes ist es, teure und aufwendig zu produzierende Aluminiumgehäuse für Fahrzeugelektronik mit leichteren, günstigeren Kunststoff- oder Metall-Kunststoffhybrid-Gehäusen zu ersetzen, welche ähnlich gute EMV-Abschirmungseigenschaften wie die Aluminiumgehäuse aufweisen.

Pascal Schleuniger

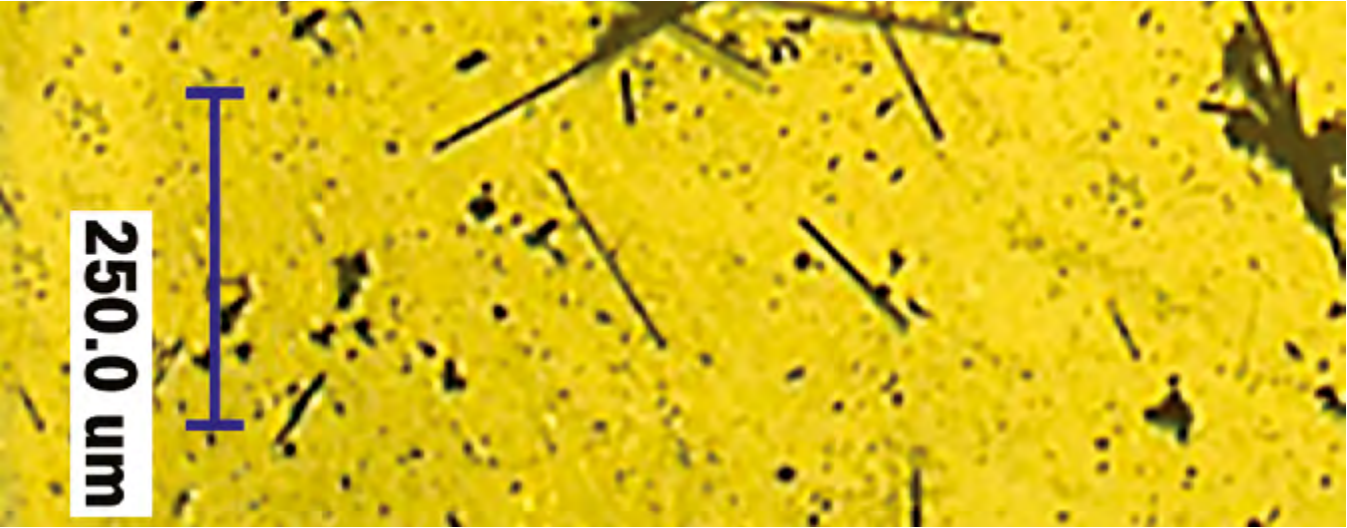


Abbildung 1: Schliffbild eines leitenden Kunststoffes

Ausgangslage

Die Wagner Gruppe mit Hauptsitz in Waldstatt hat sich auf die Herstellung von Metalldruckguss- und Kunststoffspritzgussteilen, sowie deren Kombination (Hybridbauteile) spezialisiert. Die Herstellung von Druckgussteilen ist aufgrund der manuellen Nachbearbeitungsschritte in der Schweiz im Rückzug, während die Bedeutung spezialisierter Kunststoffteile stark ansteigt. Eine Vielzahl der von Wagner produzierten Druckgussteile sind Elektronikgehäuse für die Automobilindustrie. Diese könnten durch Kunststoffspritzgussteile ersetzt werden, wenn neben den mechanischen Anforderungen auch die Normen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) der Endprodukte eingehalten werden. Dazu sollen in diesem Projekt die technologischen Grundlagen für den praktischen Einsatz von EMV optimierten Kunststoffen gelegt werden.

Elektrisch leitende Kunststoffe

Unter EMV versteht man die Eigenschaft, dass sich elekt-

rische Geräte nicht gegenseitig stören. Konkrete EMV-Anforderungen an elektrische Geräte sind in einer Vielzahl an Normen dokumentiert. Elektronische Schaltungen werden oft in Metallgehäusen untergebracht, da diese gute Abschirmungseigenschaften aufweisen. Die Abschirmungseigenschaft kommt primär durch eine gute elektrische Leitfähigkeit des Gehäuses zustande.

Es existiert eine Vielzahl leitender Kunststoffe auf dem Markt. Diese Eigenschaft wird meist durch das Beimischen von leitfähigen Füllstoffen wie Russ, Graphit oder Metallfasern erreicht. Abbildung 1 zeigt ein Schliffbild eines leitenden Kunststoffes mit Karbonfasern und Russ. Die Leitfähigkeit wird jedoch meist genutzt, um eine elektrostatische Aufladung zu verhindern oder um die Wärmeleitfähigkeit zu verbessern. In diesem Projekt wurden diese leitenden Kunststoffe systematisch auf deren EMV Abschirmungsverhalten untersucht und modelliert sowie neue Kunststoffe mit den gewünschten Eigenschaften entwickelt.

Dämpfungseigenschaften 3D

Um die Dämpfungseigenschaften von kompletten Elektronikgehäusen zu untersuchen, wurde eine neuartige 3D-Prüfapparatur entwickelt, welche es erlaubt, ein Mustergehäuse mit integriertem Störsender um zwei Achsen zu drehen. Die 3D Prüfapparatur ist in Abbildung 2 abgebildet. Die abgestrahlte Leistung wird mit einer gerichteten Antenne im Fernfeldbereich der Störsenderfrequenzen erfasst. Es wurde ein Werkzeug gefertigt, mit welchem ein Referenzgehäuse

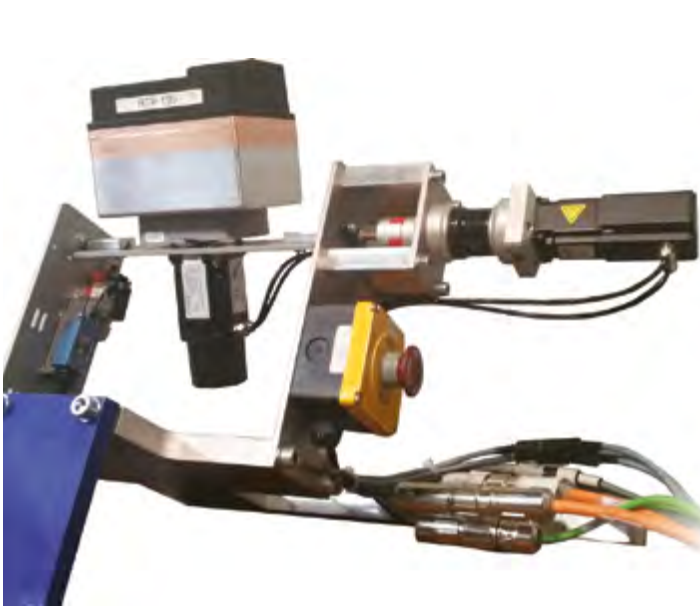


Abbildung 2: 3D-Messaufbau mit Positionierungs-Aktorik und Störsender

aus Aluminium sowie Kunststoffmustergehäuse gegossen wurden. In diese Gehäuse wurde ein breitbandiger Störsender platziert und mit einer hochempfindlichen Messung in der EMV-Halle die räumlichen Dämpfungseigenschaften ermittelt. Aufgrund der steigenden Aktualität von 5G Mobilfunk wurde der Messbereich erweitert und die Dämpfung für besonders hohe Frequenzen bis 13 GHz untersucht. Zudem wurden Hybridgehäuse, bestehend aus einem Kunststoff-Basismaterial mit metallischem Einleger untersucht. Die Gehäuse wurden anschliessend mit Löchern und Schlitzern unterschiedlicher Grössen versehen und deren Wirkung auf die Dämpfungseigenschaften messtechnisch erfasst.

Modellierungstool

Anhand der Erkenntnisse dieser Messungen wurde ein analytisches EMV Abschirmungsmodell entwickelt, welches die Dämpfungseinbussen von Löchern, Schlitzern und Einlegern unterschiedlicher Dimension und Anzahl in Abhängigkeit der Frequenz berechnet. Zudem wurden die Dämpfungsparameter verschiedener Materialien in einer Datenbank hinterlegt und damit ein Auslegungs- und Dimensionierungstool erstellt. Damit kann der Industriepartner sämtliche Messergebnisse einsehen, Gehäusedaten mit allfälligen Löchern und Aussparungen von Kundenanfragen eingeben, Kunststoffe aus einer Datenbank zuweisen und so eine realistische Voraussage der Dämpfungseigenschaften des Spritzgussgehäuses erhalten.

Abbildung 3 zeigt das Dimensionierungstool mit der Dämpfungsprognose eines kundenspezifischen Gehäuses mit einer unterschiedlichen Anzahl Löcher und Aussparungen

auf den jeweiligen Gehäuseseiten.

Fazit und Ausblick

In diesem Projekt konnte das hohe Potential von EMV Kunststoffgehäusen anhand realitätsnahen Mustergehäusen nachgewiesen werden.

Es wurden wichtige Erkenntnisse für die Fertigung von EMV optimierten Kunststoffgehäusen gesammelt und in einem Auslegungs- und Dimensionierungstool festgehalten.

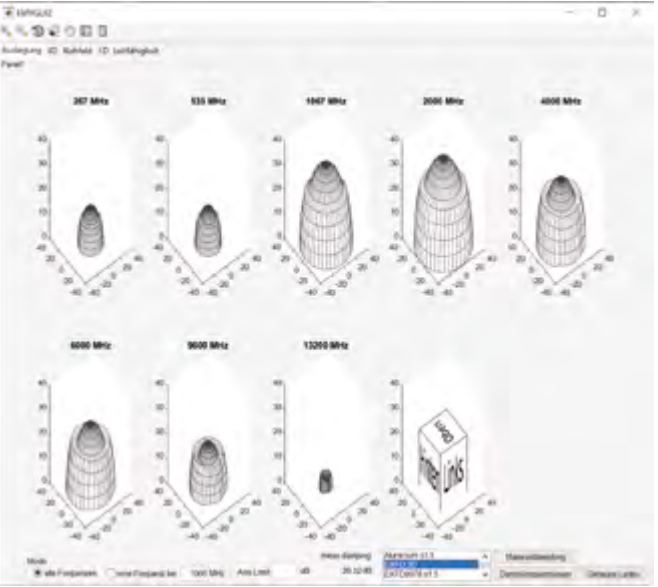


Abbildung 3: Dämpfungsprognose mit dem entwickelten Auslegungs- und Dimensionierungstool

Es konnte ein klarer Zusammenhang zwischen elektrischem Widerstand und der EMV-Dämpfung (1D und 3D) aufgezeigt werden. Die EMV-Abschirmung konnte material-, geometrie- und frequenzabhängig dreidimensional gemessen werden. Hierfür wurden spezifische Messaufbauten entwickelt und verschiedene Zusammenhänge modelliert. Es hat sich herausgestellt, dass die anwendungsrelevanten 3D Dämpfungswerte von Metallgehäusen mit Gehäusen aus EMV Kunststoffen vergleichbar sind.

Zudem konnten Erkenntnisse für die Formulierung und Entwicklung von EMV-optimierten Kunststoffen gewonnen werden, welche die sehr spezifischen Anforderungen der Automobilindustrie erfüllen können.

Der Industriepartner verfügt nun über das Know-how, künftige Elektronikgehäuseteile vermehrt mit Kunststoffspritzgusstechnologie herzustellen. Damit kann Wagner seine Marktposition als Zulieferer der Automobilbranche weiter verbessern und neue Marktsegmente erschliessen.

Auftraggeber

Wagner AG Waldstatt

Projektteam

Prof. Dr. Pascal Schleuniger, Projektleiter, pascal.schleuniger@fhnw.ch
Elias Lukas Rotzler, MSE Student, eliaslukas.rotzler@fhnw.ch

Neue Smart-Manufacturing Lehranlage an der ABB Technikerschule mit kollaborativem Roboter YuMi

Im Auftrag der ABB Technikerschule Baden entwickelt das Institut für Automation FHNW die DSub-RJ45-Bestückung mit Vision-Qualitätsprüfung. Basis bildet ein ABB YuMi Kollaborativroboter mit zwei integralen Kameras und einer festen Inspektionsstation. Die Lösung wurde im Rahmen einer Bachelor-Arbeit ausgearbeitet.

Max Edelmann

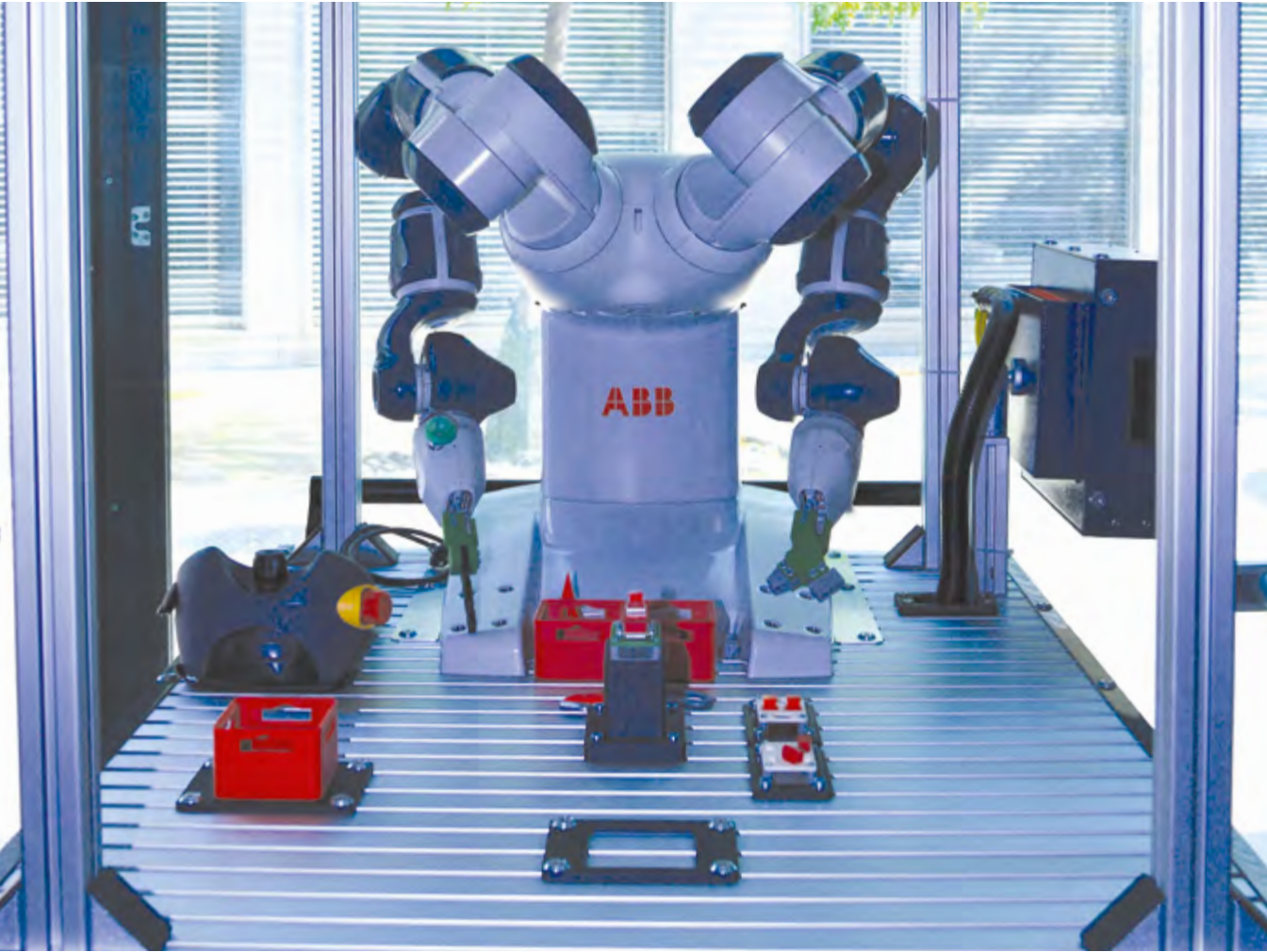


Abbildung 1: Zweiarmliger, kollaborativer Roboter YuMi von ABB in der Smart Manufacturing Station zur Montage

Smart Manufacturing in der Lehre

An der ABB Technikerschule in Baden werden Studierende im Lehrgang Systemtechnik und Konstruktionstechnik unter anderem auch im Fachgebiet Robotik unterrichtet. Die ABB Technikerschule strebt eine Erweiterung ihres Lehrgangs Systemtechnik an, wobei Smart-Manufacturing eine zentrale Rolle spielt. Die Fachkenntnisse der FHNW Institut für Automation, insbesondere in der Robotik, sind dabei als Innovati-

onsschub gewertet worden. So hat die ABB Technikerschule einen Auftrag an die FHNW IA ausgelöst.

Die ABB Technikerschule ist im Besitz mehrerer zweiarmliger, kollaborativer Roboter des Typs IRB 14000, auch bekannt unter dem Namen YuMi®. Im Vergleich zu herkömmlichen 6-Achsen-Robotern, bietet dieses System mit 14 Achsen (aufgeteilt auf 2 Arme à 7 Achsen) die Möglichkeit,

Arbeiten auszuführen, bei welchen der gleichzeitige Einsatz mehrerer Roboterarme im Fokus steht (Abb. 1).

Ein wichtiger Aspekt des geplanten Robotereinsatzes ist die Synchronisierung beider Roboterarmbewegungen und die Verwendung der integrierten Kamerasysteme, um variierende Fertigungsbedingungen zu erfassen.

Die Smart-Manufacturing Demoapplikation besteht aus einer entworfenen Baugruppe, auf der verschiedene Elektronikbuchsen montiert werden und eine automatische visuelle Kontrolle umgesetzt wird, siehe Abb. 2.

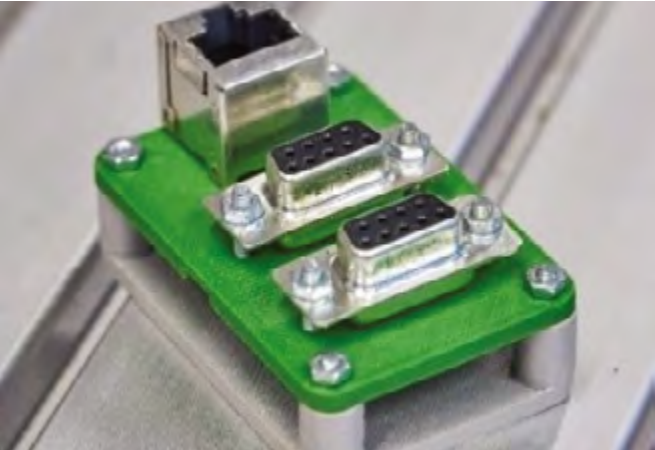


Abbildung 2: Baugruppe für den Montageprozess

Zielsetzung

Konkret soll mithilfe des im Greifsystems verbauten Kamerasystems des Herstellers COGNEX ein zufällig platziertes Objekt mithilfe von Bildverarbeitungs-Algorithmen detektiert und dessen effektive Position im Raum lokalisiert werden. Diese Daten werden verwendet, um das lokalisierte Objekt in einem ersten Schritt zu ergreifen. Mittels synchronisierter Bewegungen wird anschliessend dem ergriffenen Objekt eine weitere Komponente hinzugefügt, ehe das bestückte Objekt zurück an einer fix definierten Abholposition platziert wird.

Eine Qualitätskontrolle der Bestückung erfolgt mittels Bildverarbeitung, um bei Bedarf fehlende Teile nachzubestücken oder defekte Komponenten auszutauschen (Abb. 3).



Abbildung 3: Prozessablauf

Bildverarbeitungsproblem

Als spezielle Herausforderung ist die Bildverarbeitung zu erwähnen. Durch die Mobilität der Anlage müssen die wechselnden Lichtverhältnisse mitberücksichtigt werden. Kommt hinzu, dass aus Budgetgründen nur eine günstige Kamera ohne integrale Lichtquelle angeschafft werden konnte. Als Lösung wird ein Vision-Learning Algorithmus eingesetzt, welcher beim Einschalten der

Anlage angestossen wird und die lokale Helligkeit berücksichtigt. Bei Änderung des Tageslichts oder beim Unterricht, wo Medien wie Beamer, Frontlicht, etc. zu und weggeschaltet werden oder bei Ausstellungen in Messehallen, kann der Kalibriervorgang die neuen Lichtverhältnisse automatisch kompensieren.

Ergebnisse der Bachelorarbeit

In der Bachelorarbeit von Dominic Holzer sind Multifunktionsgreifer und Werkobjekte mit CAD Inventor konstruiert und mit dem ABB Technikerschule hausinternen 3D Druckern hergestellt worden.

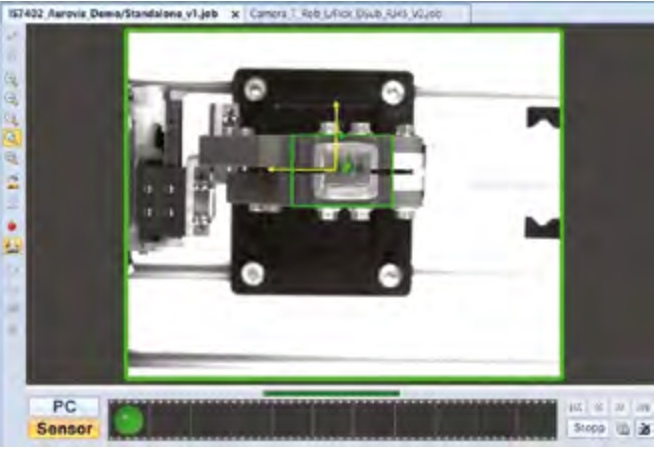


Abbildung 4: Kamerasystem zum Lokalisieren und Kontrollieren der Objekte

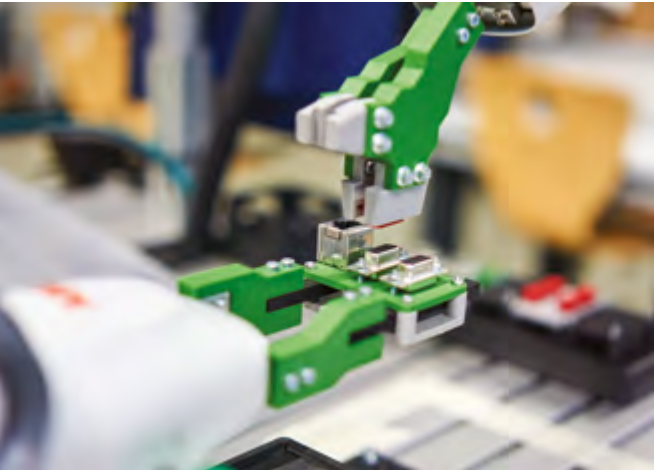


Abbildung 5: Zweiarmliger Roboter im Montageprozess

Die Montage von DSub- und RJ45-Steckverbindern wird von dem zweiarmligen Robotersystem namens YuMi® übernommen (Abb. 5). Die Montageteile werden mit Hilfe mehrerer Kameras und Bildverarbeitungs-Algorithmen überprüft (Abb. 4). Nachdem der Prozess entworfen wurde, sind die erforderlichen Funktionen mithilfe von ABB RobotStudio definiert und implementiert. Der Applikationskern basiert auf einem Zustandsautomaten, der für die Sequenzierung des Montageprozesses ausgelegt ist. Der Benutzer kann während des Betriebs jederzeit starten und stoppen. ABB Screen Maker ermöglicht die Komfortbedienung auf dem Flexpendant für Bedienpersonal ohne Programmierkenntnisse.

Studierendenprojekte – Ihre Aufgabenstellung wird durch unsere Studierenden gelöst

Es gibt zwei Methoden die Anwendung zu steuern:

1. "Standalone", der Prozess wird nur mit der Robotersteuerung gesteuert (Abb. 6).
2. "Remote", der Prozess kann über eine SPS gesteuert werden, in diesem Fall eine Soft-SPS mit einem Touch-Screen als HMI-Schnittstelle (Abb. 7).



Abbildung 6: Betriebsmodus "Standalone"

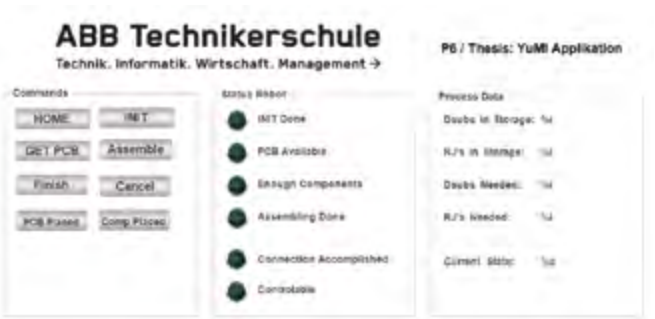


Abbildung 7: Betriebsmodus "Remote"

Ausblick

Der Cobot-Bestückungsautomat ist via Ethernet/IP Industriefeldbus mit der SoftPLC und mit weiteren Smartprozessstationen vernetzt. Dies sind ein Teilelager und eine Verpackungsstation. Durch Projekt- und Diplomarbeiten soll die Lehranlage stetig erweitert werden. Geplant ist ein Lagermanagementsystem nach Industrie 4.0: Aufträge mit Losgrösse Eins können eingegeben werden, nach Ausführung des Auftrages wird dieser personalisiert. Zur Prozessoptimierung soll die Zuführung der Teile auf einem Transportband erfolgen, wobei der YuMi® die Orientierung der Teile erkennt und «On the Move» packt und dann platziert. Die Funktionale Sicherheit PLd/ SIL3 soll in jeder Ausbaustufe gewährleistet werden.

Ein Besonderer Dank geht an Dominic Holzer, der in seiner Bachelor-Thesis den wesentlichen Beitrag in Zusammenarbeit mit der ABB Technikerschule geleistet hat.

Projektteam

Wolfgang Fischer (wolfgang.fischer@fhnw.ch)

Max Edelmann (max.edelmann@fhnw.ch)

Prof. Dr. Thomas Besselmann (thomas.besselmann@fhnw.ch)

Bachelor-Student

Dominic Holzer



Haben Sie konkrete Aufgabenstellungen aus Ihrem Unternehmen, die Sie umsetzen möchten? Für Fragen und Informationen stehen wir gerne zu Ihrer Verfügung.

Studierendenprojekte und Technologiefragen
Thomas Helbling, Leiter FITT (Forschung, Innovation, Technologietransfer)
thomas.helbling@fhnw.ch
www.fhnw.ch/technik/studierendenprojekte

Studierendenprojekte im Studiengang Systemtechnik (Automation)
Prof. Peter Zysset, Studiengangleiter Systemtechnik,
peter.zysset@fhnw.ch

Neue Mitarbeitende gewinnen

«Wir sind immer wieder von der erfrischenden Kreativität und vom Engagement begeistert, die über die Studierendenprojekte Eingang in unser Unternehmen finden. Gleichzeitig ist es für uns eine gute Sache, die Studierenden kennenzulernen und als neue Mitarbeitende zu gewinnen. Auf fachlicher und personeller Ebene lohnt sich für uns die Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik FHNW.»

Alois Huser, Geschäftsführer, Encontrol AG, Niederrohrdorf

Bachelor-Thesen

Die nachfolgenden Arbeiten wurden im Rahmen des Studienganges Systemtechnik durch Dozierende und wissenschaftliche Mitarbeitende des Instituts für Automation der Hochschule für Technik FHNW betreut.

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber/Partner	Advisor	Studierende
Antikollisionssystem für Elektrorollstühle	Curtis Instruments AG	Besselmann Thomas Gaulocher Sebastian	Coray Cyril
Erweiterte automatisierte mikrobiologische Analysen mittels TEMPO	Biolytix AG	Anderegg Roland Gebhardt Jan	Pyrochta Jan Herbert
Automatisiertes Werkzeughandling	Fraisa SA	Besselmann Thomas	Weyermann Vincens
Prozessleitsystem mit Datenerfassung und Fernwartungsmöglichkeiten	Grünig Interscreen AG	Eichin Heinz Begert Daniel	Grobbauder Elia Sebastian TZ
Automatisierung Prüfprozess Einplatzpaketiersystem (EPS)	SWD Stator- und Rotortechnik	Zogg David	Gloor André TZ
Digitale Verfolgung Produktionsaufträge mit Einbindung in ERP-System	Jenny Science AG	Gysin Hans	Jenny Ramon
Teilautomation Verpackungsmaschine	smart PLACE AG	Zihlmann Albert	Petitpierre Fernan- do Henrique TZ
Teilezuführungssystem Feedy	Paro AG	Binggeli Daniel Begert Daniel	Stern Patrick TZ
Digitalisierung und Sensorik des Sonnenschutzes	Schenker Storen AG	Anderegg Roland Kaufmann Silvio	Schwaiger Claudio
Predistortion für dynamische Funksystemrepeater	COMLAB AG	Wildfeuer Christoph Hufschmid Markus	Frieden Joel Ermias TZ
Gitterkorb Feeder-System	Robotec Solutions AG	Anderegg Roland Schmissrauter Daniel	Nüesch Lucien Cédric Alexander TZ
Hardware und Software «intelligente Schmiertechnologie 4.0»	Simatec AG	Zihlmann Albert	Trümpy Tobias
Berechnen von Geländebewegungen mit Hilfe von Kameras	Geopraevent GmbH	Stamm Christoph	Burnand Dominique Séverin TZ
Erfassung von Gasen in medizinischen Anlagen	GLOOR Medizinaltechnik AG	Eichin Heinz Gebhardt Jan	Wullschlegler Timeo
Füllstandmessung im Pellet-Lager mit periodischer Datenübermittlung	Energiepark z’Brigg AG	Eichin Heinz Ineichen Stefan	Arnold Klemens TZ
Automatisierung von SPPS Reaktoren	ControlTech Engineering AG	Böller Michael	Thiel Jannik TZ
Automatisierung eines Gridwinders	Koegl Space GmbH	Besselmann Thomas	Geissmann Matthias
Remote Screening	Max C. Meister AG	Keller Jürg P.	Dettwiler Micha Daniel TZ
Entwicklung eines Motion Controllers für Ultraschallschweissschmelzprozesse	FHNW, Institut für Automation & Institut für Kunststofftechnik	Edelmann Max	Pedolin Kilian Elias
Roboter-Applikation mit zweiarmigem Cobot ABB YuMi®	ABB Technikerschule	Besselmann Thomas Fischer Wolfgang	Holzer Dominic Michael
Testaufbau- und Automatisierung für European Train Control System (ETCS) Odometrie	Siemens Mobility Schweiz AG	Pendharkar Ishan	Cortiula Raffaele Mario TZ
Netzwerk-/SPS Konzept	Swissgas AG	Böller Michael	Stoll Pascal TZ
Digitale Verdichtungstechnologie, autonome Bahnplanung	Q-Point Schweiz AG	Besselmann Thomas Zingrich Robin	Müller Maik
Mess- und Regeltechnik für die optimale Traktion von Landwirtschaftsfahrzeugen	Berner Fachhochschule, HAFL	Besselmann Thomas Zingrich Robin	Hasler Carlo TZ

Testroboter für Qualitätsanalyse von Einzelkörnern	QualySense AG	Sacchetti Andrea, IMN	Bruno Antonio Mariano
Anpassung einer Endtestanlage an produktive Serienprüfug von Mikro-Magnetventilen	Fritz Gyger AG	Sekler Jörg	Freiermuth Reto
Condition Monitoring einer Vakuumpumpen mit Edge-Computing-System	Antrimon Engineering	Eichin Heinz	Bachmann Barbara
Kontaktlose, induktive Energieübertragung für Akkuladung	Otto Suhner AG	Gysin Hans	Dittli Robin
Systemauslegung einer neuen Wägetechnik im Schüttgutbereich	Gericke AG	Anderegg Roland Gebhardt Jan	Amacher Pascal Julian Markus
Electric Vehicles Converters Diagnostics for Predictive Maintenance	FHNW, Institut für Automation	Mastellone Silvia	Stalder Dominic
Hermosto - Programmierung einer automatischen I/O-Prüfung für den Wagenrechner IC-Bt-1 (SBB)	SBB, Personenverkehr	Mastellone Silvia	Bitschnau Nicolas
Automatisierung eines Prüfgerätes für Zahnimplantate	Thommen Medical	Besselmann Thomas Zingrich Robin	Wegmann Christian
Entwicklung einer Methode für die Prädiktion des Energieverbrauches	BELIMO Automation AG	Keller Jürg P. Wiss Moritz	Artero Kian
Prozessoptimierung zur Bewässerung von Spezialkulturen	Ebenrain-Zentrum	Simons Gerd Begert Daniel	Huynh T. Khai TZ
Schlaglängenmessung	Zumbach Electronic AG	Keller Jürg P. Wiss Moritz	Frei Simeon
Emulation von Feld-Anlagen auf einem Wärmepumpen-Prüfstand	Viessmann Schweiz AG	Zogg David	Urech Alex Thomas
Redesign Aethalometer: Entwicklung eines sensitiven low-cost Russmessverfahrens	FHNW, Institut für Sensorik und Elektronik	Weingartner Ernest	Backlund Joshua
Architektur Konzept auf Basis eines Distributed Systems für ein Monorail System	Swisslog AG	Anderegg Roland	Steffen Simon
Automatisierung des Behandlungsprozesses von Pflanzen in der Agrarindustrie	Invaio Sciences Inc.	Anderegg Roland	Mühlemann Tobia Remy
Optimierung der Unterdruckwalzenregelung einer hydraulischen Biegemaschine	Haeusler AG	Anderegg Roland Sonderegger Andrej	Wirz Joël Pascal TZ
Messsoftware für Profilsensoren	Benteler Rothrist AG	Keller Jürg P. Begert Daniel	Frutiger Jan TZ
Schwingungsanalyse an einer Coffee Soul	Schaerer Ltd	Keller Jürg P. Begert Daniel	Weber Lukas TZ
Sensor Tag Interface – Fremdsensorik an SPS	FHNW, Institut Energie am Bau	Eichin Heinz Rüfenacht Daniel Genkinger Andreas	HABG Hunziker Benedikt

Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden

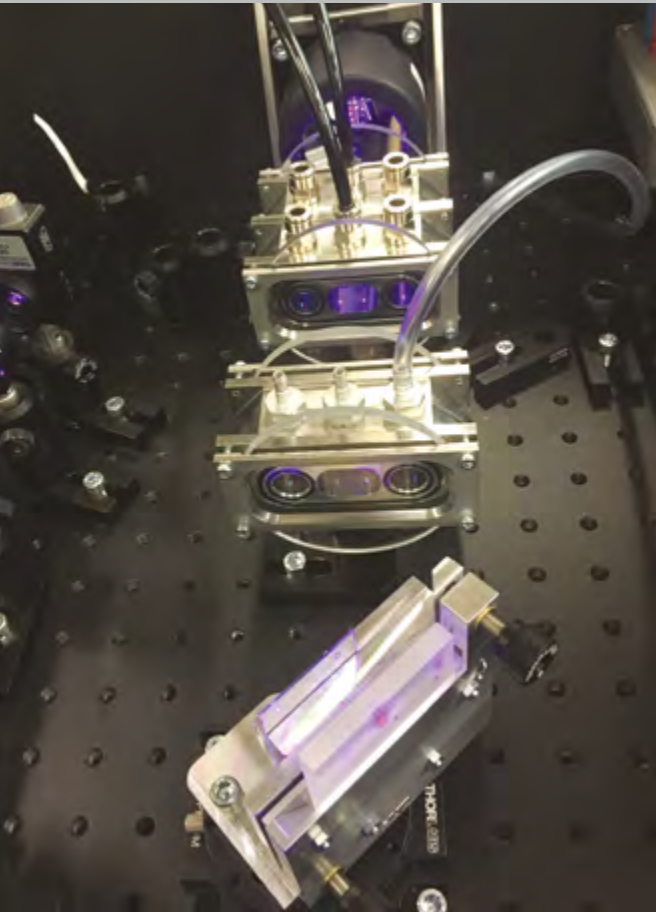
Projektthema	Auftraggeber	Advisor	Studierende
Ethernet Traffic Generator	E+H Flowtec AG	Eichin Heinz	Ostgen Lukas
Dynamische und Zustands-basierte Vorhersage von Zeitreihen	E+H Flowtec AG	Eichin Heinz	Ostgen Lukas
Aligner 4.0 - Steuerungsauslegung Laserschneider	Nivellmedical AG	Anderegg Roland	Märki Vincent
Cyberphysisches System für die Laserbearbeitung von Zahnschienen	Nivellmedical AG	Anderegg Roland	Märki Vincent
Entwicklung einer Benutzerführung für computergesteuerte Blechbiegemaschinen	Haeusler AG	Roland Anderegg	Winkler Noah
Entwicklung einer robusten Bahnplanung für Blechbiegeprozesse mit Störanfälligkeit auf Gravitationseinfluss	Haeusler AG	Roland Anderegg	Winkler Noah
µ-Synthesis-Reglerentwurf in LabView	FHNW internes Projekt	Keller Jürg P.	Wiss Moritz
Entwicklung eines Prädiktionsmodells des Energieflusses für das Energy Valve	Belimo AG	Keller Jürg P.	Wiss Moritz
Analyse eines Prozesses zur Herstellung von faserverstärkten Polymerhalbzeugen	MCAMC AG	Anderegg Roland	Schmissrauter Daniel
Modellierung zweier hydraulischer, gekoppelter Aktoren für Blechbiegemaschinen	Haeusler AG	Roland Anderegg	Sonderegger Andrej
Adaptiver CNC-Code Umwandler für automatisierte Biegeprozesse	Haeusler AG	Roland Anderegg	Sonderegger Andrej
Innovative, modellbasierte thermische Industriesysteme	Tool-Temp AG	Zogg David	Thierer Steffen
Erweiterung von Multi-Material Welding mithilfe von Smart Robotics	MMWelding	Keller Jürg P.	Zubler Tobias
Modellbasierte, KI-gestützte adaptive Vollklimatechnologie	Fr. Sauter AG	Zihlmann Albert	Stalder Dominic
Optimierung der Dicke von 3D-gedruckten Elektroblechen	Exentis Group AG	Gysin Hans	Pedolin Kilian
Schnelle Messung von Luftfeuchtigkeit	FHNW internes Projekt	Keller Jürg P.	Kuhn Thomas
Objektidentifikation mittels radialem Flow	FHNW internes Projekt	Keller Jürg P.	Kuhn Thomas
Entwicklung eines Regelverfahrens zur Kompensation der Haftreibung von Linearmotoren.	NTI AG	Besselmann Thomas	Geissmann Matthias
Automatisierte Aufbereitung verschlissener Werkzeuge	Fraisa SA	Besselmann Thomas	Bruno Antonio
Funktionsmuster für automatisches Deckelhandling auf einem elektromechanischen Dosenverschliesser	Ferrum AG	Schleuniger Pascal	Müller Maik
Autonome Navigation mit ROS	FHNW internes Projekt	Anderegg Roland	Wigger Oliver
Realisierung eines Praxisbeispiels der Model Predictive Control Methode	FHNW-IA	Anderegg Roland	Zingrich Robin
Untersuchung und Verbesserung der mechanischen Präzisionsfertigung mit Model-Based Definition und stat. Versuchsplanung	FAES-PWR ESTECH AG	Anderegg Roland	Zingrich Robin
Digitale Schmiertechnologie	Simatec AG	Anderegg Roland	Kaufmann Silvio
Parametrierbare elektromechanische Nachbildung eines Federpaketes - SPS	Ferrum AG	Schleuniger Pascal	Strassmann Nils
Berührungslose Datenübetragung	FHNW internes Projekt	Schleuniger Pascal	Rotzler Elias
Parametrierbare elektromechanische Nachbildung eines Federpaketes - Embedded	Ferrum AG	Schleuniger Pascal	Rotzler Elias

Preis

Schweizerische Vereinigung für Sensortechnik (SVS)

Der Diplompreis 2020 der Vereinigung SVS-SENSORS c/o FSRM-Neuchâtel geht an Frau Manuela Wipf.

Sie ist Absolventin des Studienganges Systemtechnik und heutige wissenschaftlich-technische Mitarbeiterin im Institut für Sensorik und Elektronik.



Das Thema der Arbeit lautet «Adaptieren eines photothermischen Interferometers für Messungen in wässrigen Systemen». Betreuer der Diplomarbeit waren Prof. Dr. Ernest Weingartner und Dr. Bradley Visser. Die öffentliche Präsentation und Würdigung findet wegen «Corona» erst an der GV'21 statt.

Abbildung: Photothermisches Interferometer für Messungen in wässrigen Systemen. Detektor (links), Retroreflektor (oben), Mess- & Referenzkammer (mitte) und Beam Splitter (unten)



Für persönliche Auskünfte und Beratung stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Leiter Institut für Automation
 Prof. Dr. Roland Anderegg
 T +41 56 202 77 43, roland.anderegg@fhnw.ch

Sekretariat Institut für Automation
 T +41 56 202 75 28, info.ia.technik@fhnw.ch

Weiterbildung MAS Automation Management
 Studiengangleiter Prof. Dr. Jürg P. Keller
 T +41 56 202 77 62, juerg.keller1@fhnw.ch
www.fhnw.ch/mas-automation

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
 Hochschule für Technik
 Institut für Automation
 Klosterzelgstrasse 2
 CH-5210 Windisch

www.fhnw.ch/ia