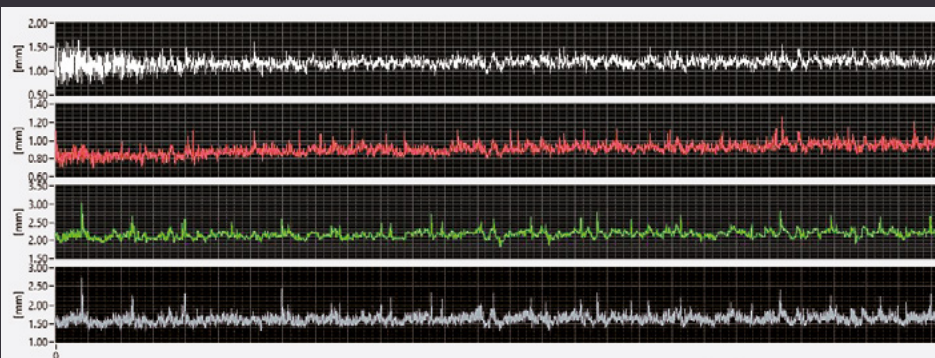


Impressum

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



Inhalt

3	Editorial
Forschungskompetenz Moderne Regelungstechnik	
4	Entwicklung eines Energy-Valves Jürg Keller
8	Haftreibungskompensation in der linearen Antriebstechnik Matthias Geissmann
11	Modellbasierte thermische Industriesysteme Steffen Thierer
14	Regelung eines Herstellungsprozesses faserverstärkter Polymerhalbzeuge Daniel Schmisrauter
Forschungskompetenz Industrielle Automation und Gebäudeautomation	
18	Aligner 4.0 - Cyberphysisches System für die Laserbearbeitung von Zahnschienen Vincent Märki
20	Mess- und Regelungstechnik für intelligente Biegemaschinen Max Edelmann
22	Mechanische Präzisionsfertigung mit Model-Based Definition Kilian Pedolin

24	EMV Power Line Kommunikation Pascal Schleuniger
26	Laser Interface für optische MEMS-Sensoren Raphael Roth
28	Modellbasierte prädiktive Vollklimatechnologie Albert Zihlmann
32	Regelungstechnik für Wärmepumpen im Areal David Zogg
Forschungskompetenz Mechatronik	
36	Herstellung von hochpräzisen "Elektroblechen" mit den Methoden eines seri- entauglichen 3D-Druckverfahrens Hans Gysin
38	Energieeffiziente Grossbildschirme Nils Strassmann
40	Bachelor-Thesen
41	Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden



Editorial

Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Auch das Jahr 2021 war für das Institut für Automation 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. In der Weiterbildung leistete das Institut für Automation einen wesentlichen Beitrag im MAS Automation Management.

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

Entwicklung eines Energy-Valves

Energieoptimale Regelung ist ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs. Die optimale Regelung in einem Gebäude wird stark vereinfacht, wenn lokal intelligente Geräte eingesetzt werden können, welche die Ärgernisse realer Regelstrecken bereits dezentral eliminieren. Dazu wurden Methoden zur Regelung des Energieflusses im Energy-Valve von Belimo entwickelt.

Jürg Keller

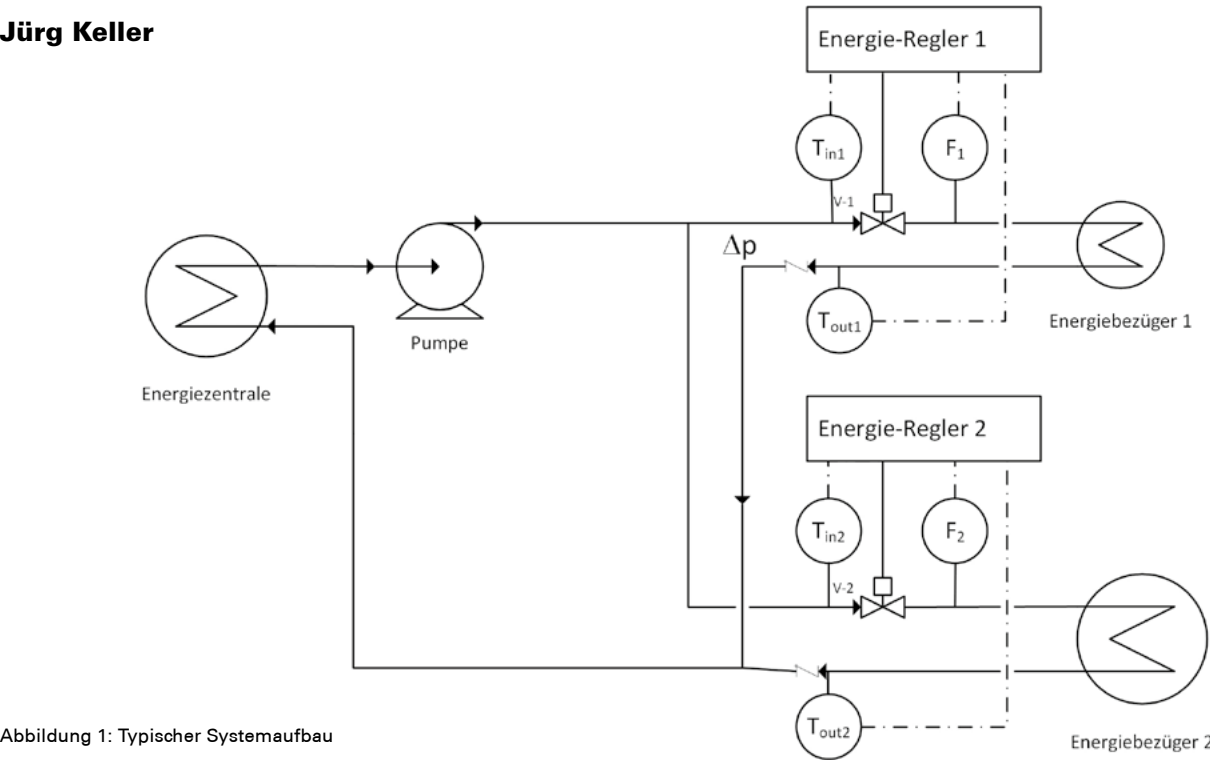


Abbildung 1: Typischer Systemaufbau

Die Problemstellung

Lösungen in der Gebäudeleittechnik sind geprägt von einem hohen Preisdruck. Dadurch sind Kühlanlagen oft mittels Drosselschaltung aufgebaut, wie in Abbildung 1 dargestellt. Im Gegensatz zu verfahrenstechnischen Anlagen verfügen die einzelnen Energiebezüger aus Kostengründen über keinen eigenen, mit Pumpen betriebenen Kreislauf. Dies hat gravierende Konsequenzen für die Regelung. Bei einem gepumpten Kreislauf besteht immer eine genügende Zirkulation. Somit sind Transportzeiten, d.h. Totzeiten, zwischen der Vorlauftemperaturmessung T_{in} und der Eintrittstemperatur in den Energiebezüger immer vernachlässigbar klein und auch der Energiefluss im Energiebezüger hauptsächlich von der Temperaturdifferenz abhängig. Bei der Drosselschaltung, wie im vorangehenden Schema dargestellt, ist der Durchfluss von der Ventilstellung abhängig. Dies erzeugt variable Transportzeiten, die insbesondere im Niederlastbereich relativ zu anderen Zeitkonstanten sehr gross sein können. Zusätzlich wird

der Energieübertrag bei niederen Durchflüssen sehr klein. Die Stellventile sind im Vergleich zur Verfahrenstechnik mindestens 5-mal billiger. Dies äussert sich dann auch in der Wiederholgenauigkeit und Hysterese der Ventile. Da in einem Gebäude meist viele Energiebezüger am Netz angeschlossen sind, kann auch der Vordruck variieren. Dies erschwert die Regelung der einzelnen Energiebezüger zusätzlich.

Eine Lösung dieser Probleme kann mit dem Belimo Energy-Valve erreicht werden. In einem Forschungsprojekt wurde eine nun patentierte Lösung der Energieflussregelung entwickelt, die im Folgenden skizziert wird.

Energieflussregelung

Zur Untersuchung des Systemverhaltens wurden verschiedene Modelle erstellt und mit Messungen an einer Versuchsanlage abgeglichen. Für die Entwicklung einer Energieregulation war es aber nötig, das einfachste Modell

zu finden, welches die wichtigen Aspekte der Regelstrecke genügend gut beschreiben kann. Für den praktischen Einsatz ist es nicht möglich, für jede Installation dutzende von Modellparametern zu identifizieren und viele Optimierungsparameter für jeden Entwurf zu bestimmen. Zudem fehlen praxistaugliche Entwurfsmethoden für Beobachter mit variablen Totzeiten für komplexe Modelle. Für ein einfaches Modell konnte aber ein stabiler Beobachter analytisch hergeleitet werden. Folgende Modellstruktur hat sich als zweckmässig erwiesen:

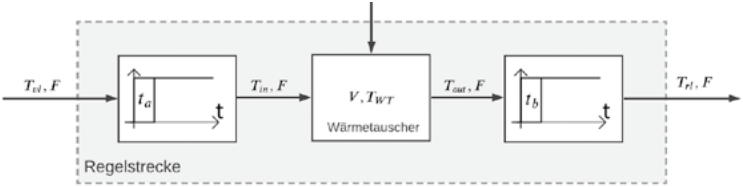


Abbildung 2: Einfache Modellstruktur

Die Transportzeiten t_a und t_b können aufgrund der Leitungslänge und dem gemessenen Durchfluss F bestimmt werden. Der Wärmetauscher ist als nichtlineares System 1. Ordnung beschrieben. Der Energiefluss ist von der Temperatur auf der Sekundärseite T_r abhängig und von den logarithmisch gemittelten Temperaturen T_{in} und T_{out} . Der Wärmeübergangskoeffizient wird durchflussabhängig als stückweise lineare Funktion modelliert. Diese Stützstellen und der Inhalt des Wärmetauschers müssen als Modellparameter identifiziert werden. Verschiedene Methoden wurden dazu entwickelt. Es ist denkbar, dass diese Daten auch aus Datenblättern der Wärmetauscher übernommen werden können.

Reglerstruktur

Eine grosse Herausforderung für die Regelung ist die dynamische richtige Berechnung des Energieflusses. Wird diese einfach aufgrund einer Wärmebilanz basierend auf Durchfluss und Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur bestimmt, so ist dies im statischen Fall richtig, im für die Regelung wichtigen transienten Verhalten aber nicht. Wohl kann durch Berücksichtigung der Totzeiten eine Energiebilanz korrekt bestimmt wer-

den, aber nur mit einer Verzögerung, die durch die Summe aller Totzeiten gegeben ist. Da diese im Niederlastbereich maximal wird, kann damit keine gute Regelung für alle Lastbereiche erreicht werden. Basierend auf Überlegungen, wie sie für Smith-Prädiktoren angewendet werden, wurde die in Abbildung 3 dargestellte Struktur definiert. Diese soll im Folgenden erklärt werden. Da die Temperatur auf der Sekundärseite T_r nicht bekannt ist und angenommen werden kann, dass sich diese nicht allzu schnell verändert, wird diese unter Berücksichtigung aller Totzeiten mit einem klassischen Beobachter geschätzt. Basierend auf dem geschätzten $\hat{T}_r$ kann nun aufgrund des Modells und der bekannten Vorlauftemperatur und dem Durchfluss der zu erwartende Wärmefluss $\hat{Q}_{WT}$ ohne Verzögerung geschätzt werden. Da die $\hat{Q}_{WT}$ -Vorhersage vom Zustand T_{out} abhängt, wird dieser nach einer durchflussabhängigen Verzögerung mit der gemessenen Rücklauftemperatur verglichen. Der Vorhersagefehler wird in der $\hat{Q}_{WT}$ -Vorhersage zur Korrektur der geschätzten Rücklauftemperatur verwendet. Basierend auf der $\hat{Q}_{WT}$ -Vorhersage kann nun ein Energieflussregler dem vom übergeordneten Leitsystem vorgegebenen Sollwert folgen.

Test der Regelung

In der Simulation können die meisten theoretisch sinnvollen Lösungen zum Funktionieren gebracht werden. Der wirkliche Test der Funktionstüchtigkeit findet aber an einer realen Anlage statt. Für den Testversuch werden die Modellparameter der HLK-Anlage identifiziert. Die Temperaturen T_{vi} und T_{ri} so wie der Durchfluss F werden gemessen. Der Kugelhahn des Regelventils besitzt ein kleines Spiel (Backlash) und eine Verzögerung, welche bei Soll-Positionsänderungen eintritt. Bei Richtungswechseln verändert sich daher der Durchfluss nicht sofort. In Abbildung 4 ist der Testversuch an einer realen HLK-Anlage mit mehreren Soll-Energieflusssprüngen zu sehen.

Bei ca. 380s ändert sich der Sollenergiefluss Q_{soll} von 1.6kW auf 1.8kW. Es ist zu sehen, dass durch die Vorsteuerung sich $\hat{Q}_v$ relativ schnell auf Q_{soll} einstellt. Es resultiert eine Änderung des Durchflusses F_{feed} (Vorsteuerung) und somit auch F_{soll} . Durch einen Richtungswechsel bzw. das Spiel entsteht eine Verzögerung zwischen Solldurchfluss

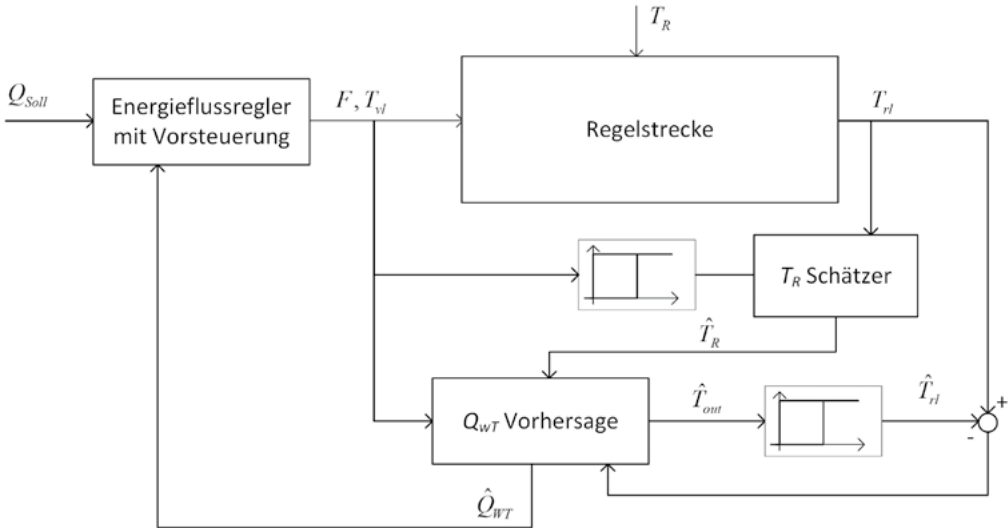


Abbildung 3: Reglerstruktur

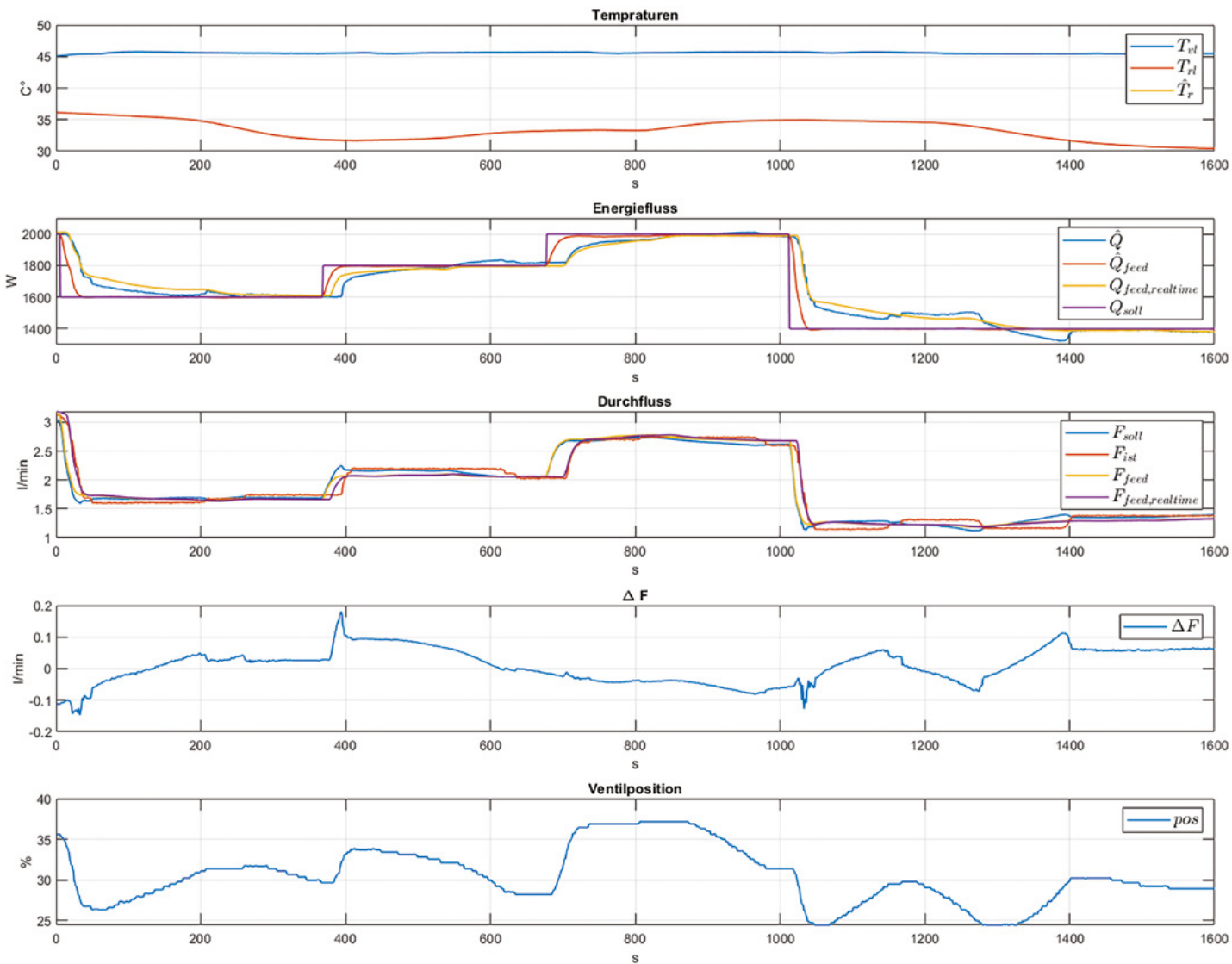


Abbildung 4: Versuche an der realen HLK-Anlage

F_{soll} und dem aktuellen Durchfluss F . Da die modellierte Ventildynamik das Spiel nicht berücksichtigt, entsteht eine Abweichung zwischen den Durchflüssen bzw. zwischen $\hat{Q}$ und $\hat{Q}_{feed}$ der Vorsteuerung. Der Energiefluss $\hat{Q}$ steigt um ca. 20s verzögert an. Die Differenz zwischen $\hat{Q}$ und dem verzögerten $\hat{Q}_{feed}$ wird durch einen PI-Regler eliminiert. Dies ist deutlich am Ansteigen von ΔF bei ca. 380s zu erkennen. Nach ca. 100s stellt sich der geschätzte Energiefluss $\hat{Q}$ auf den geforderten Soll-Energiefluss Q_{soll} ein.

Bei ca. 680s ist ein weiterer Sollwertsprung zu sehen. Diesmal stimmt jedoch die Ventildynamik mit der realen überein. Die Abweichung zwischen $\hat{Q}$ und $\hat{Q}_{feed}$ fällt deutlich kleiner aus. Dies ist im Verhalten von ΔF zu sehen. Es entstehen keine grossen, sprunghaften Änderungen des Durchflusses wie im vorherigen Sprung.

Beim Sollwertsprung bei ca. 1010s wird der geforderte Energiefluss nicht exakt erreicht. Durch die ständigen Lastwechsel am Ventil fällt der Energiefluss $\hat{Q}$ abwechselnd über bzw. unter den Sollenergiefluss Q_{soll} . Dieses Verhalten könnte durch ein Totband vor dem PI-Regler vermieden werden.

Zusammenfassung

Mit der Entwicklung des Energieflussreglers konnte gezeigt werden, dass sich der Energiefluss von trägen und totzeitbehafteten HLK-Systemen mit den vorgestellten Beobachterstrukturen und einer Vorsteuerung regeln lässt. Durch die gewählte Beobachterstruktur des Energieflusses lässt sich der Energiefluss ohne Verzögerung bestimmen und regeln. Für die Funktion der Vorsteuerung wird die bereits vorhandene Beobachterstruktur genutzt und somit die Performance des Regelkreises erhöht.

Industriepartner

Stefan Mischler, Belimo AG, Hinwil

Projektteam

Jürg P. Keller, FHNW
juerg.keller1@fhnw.ch

M. Wiss, FHNW

T. Kuhn, FHNW
thomas.kuhn@fhnw.ch

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



Haftreibungskompensation in der linearen Antriebstechnik

Die Firma NTI AG vertreibt elektrische, direktangetriebene Linearmotoren in tubularer Ausführung. Im Gegensatz zu rotativen Motoren, welche oft mit konstanter Drehzahl laufen, ist die Läuferbewegung des Linearmotors geprägt vom Richtungswechsel. Im Umkehrpunkt zwischen Vor- und Rückwärtsbewegung kommt es dabei aufgrund der Haftreibung zu einem schwer kontrollierbaren Losbrechmoment, welches im Rahmen eines Innosuisse-Projekts elektronisch kompensiert werden soll.

Matthias Geissmann

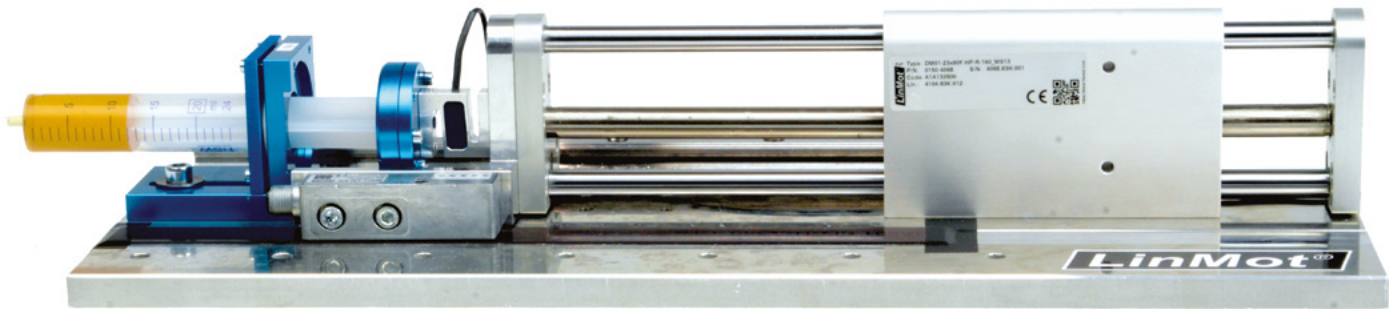


Abbildung 1: Linearmotor mit Spritzenaufbau

Problematik

Der Linearmotor wird im industriellen Umfeld hauptsächlich für Positionierungsaufgaben verwendet. Dabei zwingt die endliche Länge des Läufers den Linearmotor zur regelmässigen Bewegungsrichtungsumkehrung, um zu verhindern, dass die Anschläge des Läufers erreicht werden.

Ein typisches Bewegungsprofil ist in der Abbildung 2 dargestellt. Im rot eingekreisten Bereich findet der problematische Wechsel zwischen der Vor- und Rückwärtsbewegung statt.

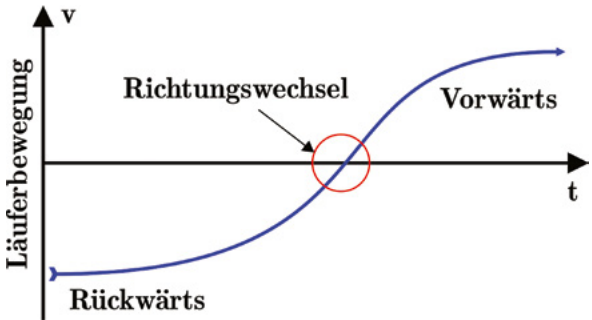


Abbildung 2: Bewegungsprofil des Linearmotors

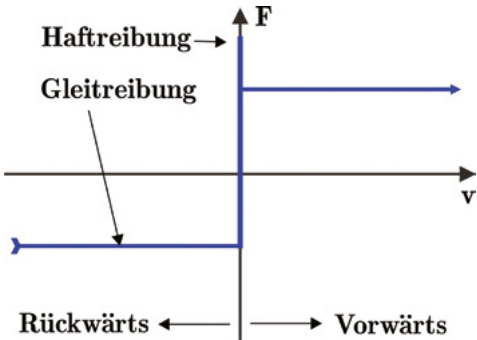


Abbildung 3: Geschwindigkeitsabhängige Reibungskraft

Aus der klassischen Physik ist bekannt, dass die Reibung zwischen Stator und Läufer immer der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist und sich zusätzlich in Haft- und Gleitreibung unterteilen lässt. Interessant ist, dass beim Richtungswechsel des Läufers alle möglichen Variationen der Reibungszustände durchlaufen werden. Zur Verdeutlichung des Verlaufs der Reibungskraft während des Richtungswechsels kann in der Abbildung 3 das Kraft-Geschwindigkeitsprofil für die Bewegung in Abbildung 2 betrachtet werden.

Der sprunghafte Vorzeichenwechsel der Reibungskraft und die kurz wirkende Haftreibungsamplitude führen dazu, dass das Bewegungsprofil des Läufers gestört wird (Abbildung 4).

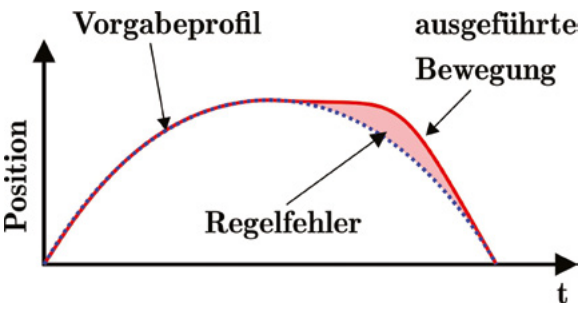


Abbildung 4: Soll- und Istposition

Bei einigen Anwendungen, wie zum Beispiel beim Ausstossen einer Spritze, wird gewünscht, dass kleine und präzise Bewegungsschritte vorgenommen werden können. Dabei soll der Einfluss der sich sprunghaft verändernden Reibungskraft minimiert werden.

Zielsetzung

Das Ziel des Innosuisse-Projekts ist es, die vorgängig genannten und von vielen Anwendern als störend klassifizierten Effekte der Reibungskräfte elektronisch zu kompensieren. Dies soll das Anwendungsspektrum der Linearmotoren von NTI AG erweitern und die Inbetriebnahme des Linearmotors vereinfachen.

Um diese Ziele zu erreichen, gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, welche im Rahmen dieser Projektarbeit untersucht werden:

Bei der ersten Methode werden die Reibungskräfte mit dem Stribeckmodell abgeschätzt und anschliessend mit einer Vorsteuerung kompensiert.

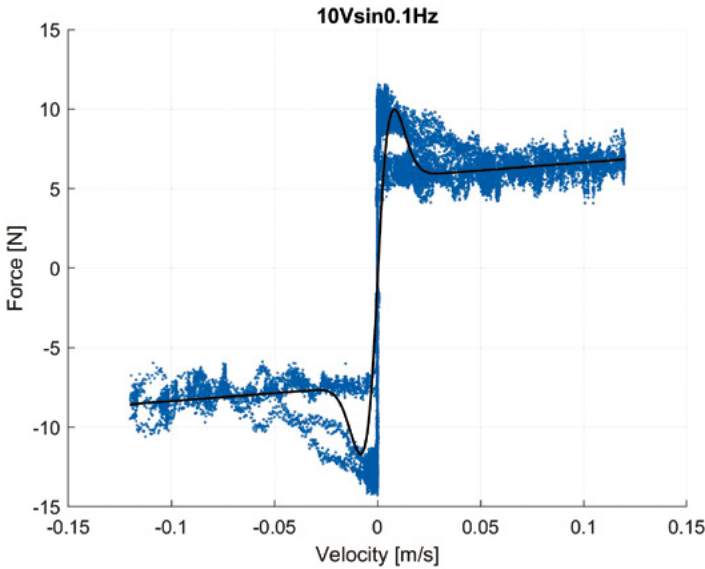


Abbildung 5: Reibungsmessung

Bei der zweiten Methode werden die auftretenden Reibungskräfte während des Betriebs des Linearmotors detektiert und anschliessend durch einen zusätzlichen Motorenstrom kompensiert.

Modellierung der Reibungseffekte

Das Stribeckmodell ist ein Reibungsmodell, welches alle Reibungskräfte der klassischen Physik (Abbildung 3) beschreibt und zusätzlich ein Übergangsverhalten zwischen der Haft- und der Gleitreibung modelliert. Dieses Modell besitzt 5 Parameter, welche in dieser Projektarbeit mittels Schwingversuchen identifiziert wurden.

In der Abbildung 5 sind in Blau die Messpunkte des Schwingversuchs und in Schwarz das identifizierte Stribeckmodell eingetragen. Die Reibungskraft auf der y-Achse wurde mit einem externen DMS-Sensor aufgenommen und die Geschwindigkeit auf der x-Achse wurde durch die Ableitung des Positionssignals ermittelt.

Zur Kompensation der Reibungskräfte wird während des Betriebs des Motors die Läufergeschwindigkeit gemessen. Anschliessend wird über das Stribeckmodell die zusätzliche elektrische Spannung berechnet, welche der Motor benötigt, um die Reibungskraft zu kompensieren.

Load-Observer

Die Kompensationsmethode mittels Load-Observer besteht aus zwei Teilen, welche in der Abbildung 6 schematisch im Block PID und im Load-Observer untergebracht sind.

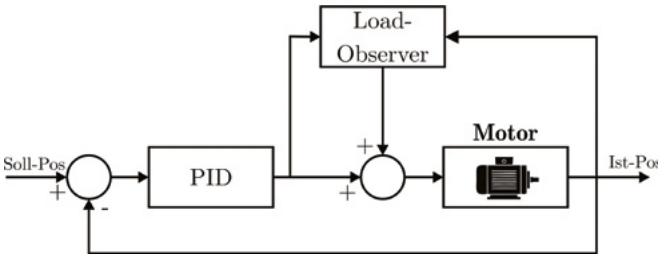


Abbildung 6: Reibungsmessung

Die Aufgabe des PID-Reglers ist es, durch das Vergleichen der Soll- und Ist-Position des Linearmotors den Regelfehler zu minimieren.

Die Aufgabe des Load-Observers ist es, nichtlineare Störungen (Reibungskräfte) zu kompensieren. Im Gegensatz zum PID-Regler, welcher mit der Differenz zwischen der Soll- und Ist-Position arbeitet, benötigt der Load-Observer die Differenz zwischen der theoretisch idealen Position und der gemessenen Ist-Position. Die ideale Position wird vom Load-Observer mit dem Motorenstrom berechnet und entspricht der Läuferposition, welche ohne Reibung theoretisch erreicht worden wäre.

Die Regelgrösse für den Load-Observer ist somit eine Störung, welche auf den Linearmotor einwirkt und durch einen zusätzlichen Motorenstrom kompensiert werden kann.

Modellbasierte thermische Industriesysteme

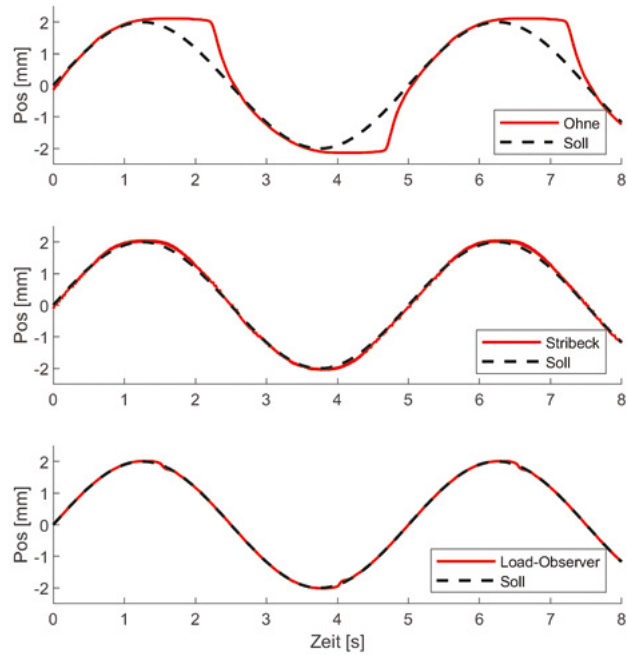


Abbildung 7: Sinus-Bewegungsprofil

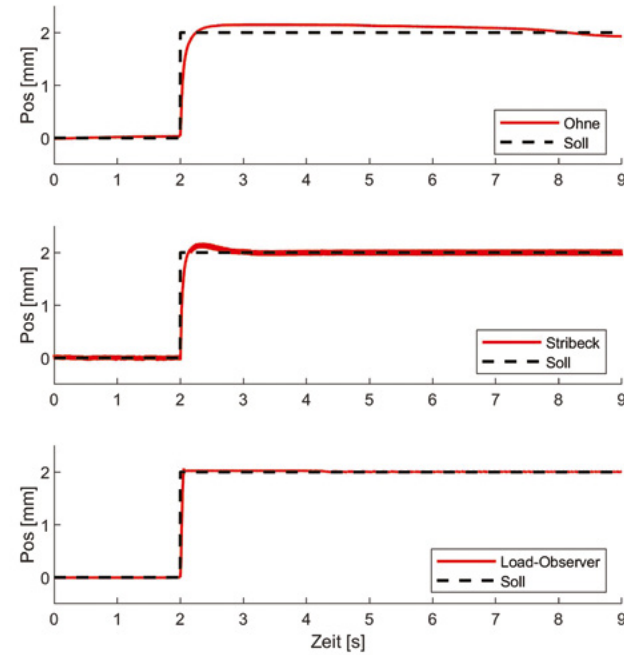


Abbildung 8: Schrittversuch (2mm)

Resultate

Um die beiden Kompensationsmethoden miteinander vergleichen zu können, wurde ein Prüfstand aufgebaut, welcher in Abbildung 1 zu sehen ist und der es erlaubt, den Linearmotor mit unterschiedlichen Reglern zu testen.

Die Bewertung der beiden Kompensationsmethoden findet anhand von zwei praxisnahen Bewegungsprofilen und dem resultierenden Regelfehler statt.

Das erste Bewegungsprofil beschreibt eine kontinuierliche sinusförmige Bewegung, welche in den Diagrammen der Abbildung 7 mit der schwarz gestrichelten Linie eingezeichnet ist. Die rote Linie bildet die tatsächlich ausgeführte Bewegung des Linearmotors ab. In der Abbildung 7 oben wird der Regler ohne Reibungskraftkompensation gezeigt. In der Mitte wird der gleiche Regler wie oben gezeigt mit zusätzlicher Stribeck-Vorsteuerung und unten wird der Regler mit dem Load-Observer dargestellt.

Das zweite Bewegungsprofil beschreibt einen Positionsschritt, bei welchem der Linearmotor sprunghaft eine neue Position anfahren muss. Die Abbildung 8 wurde analog zur Abbildung 7 aufgebaut.

Bei beiden Versuchen ist zu sehen, dass der Linearmotor ohne Kompensationsmethode den grössten Regelfehler aufweist und beide Kompensationsmethoden eine Performance-Steigerung bewirken. Betrachtet man den Regelfehler, so ist der Load-Observer die bestgeeignete Reibungskompensationsmethode. Neben dem Regelfehler gibt es bei beiden Kompensationsmethoden weitere Merkmale, welche zu beachten sind und nachfolgend beschrieben werden.

Die modellbasierte Vorsteuerung zeichnet sich durch ein robustes Betriebsverhalten und einen äusserst geringen

Rechenaufwand während des Betriebs aus. Der grosse Nachteil ist der hohe Arbeitsaufwand, um ein präzises Reibungsmodell zu identifizieren.

Der Load-Observer, welcher auf dem Prüfstand die besten Resultate lieferte, hat neben der hohen Regelgüte den Vorteil, dass er mit geringem Aufwand an unterschiedliche Anwendungen angepasst werden kann. Nachteilig ist, dass er angewiesen ist auf präzise und rauscharme Positionssignale des Läufers und dies mit der internen Sensorik des Linearmotors schwierig zu erreichen ist.

Ausblick

In einer Meilensteinsitzung haben die FHNW und die Firma NTI AG die Vor- und Nachteile beider Ansätze abgewogen. Dabei sind sie zum Schluss gekommen, dass der Load-Observer die am besten geeignete Reibungskraftkompensationsmethode ist, trotz der hohen Anforderungen an die Güte der Positionssignale.

Der Fokus der Projektarbeit liegt daher in Zukunft auf der Signalverarbeitung. Das Ziel ist es, den Load-Observer mit der im Linearmotor integrierten Sensorik robust und industrietauglich zu betreiben.

Industriepartner

Philipp Kontopulos, NTI AG LinMot & MagSpring
phillip.kontopulos@linmot.ch

Projektteam

Matthias Geissmann, FHNW
matthias.geissmann@fhnw.ch
Wolfgang Fischer, FHNW
wolfgang.fischer@fhnw.ch
Prof. Dr. Thomas Besselmann, FHNW
thomas.besselmann@fhnw.ch

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 wurde in diesem Innosuisse-Projekt die Grundlage für einen intelligenten Regler gelegt.

Steffen Thierer

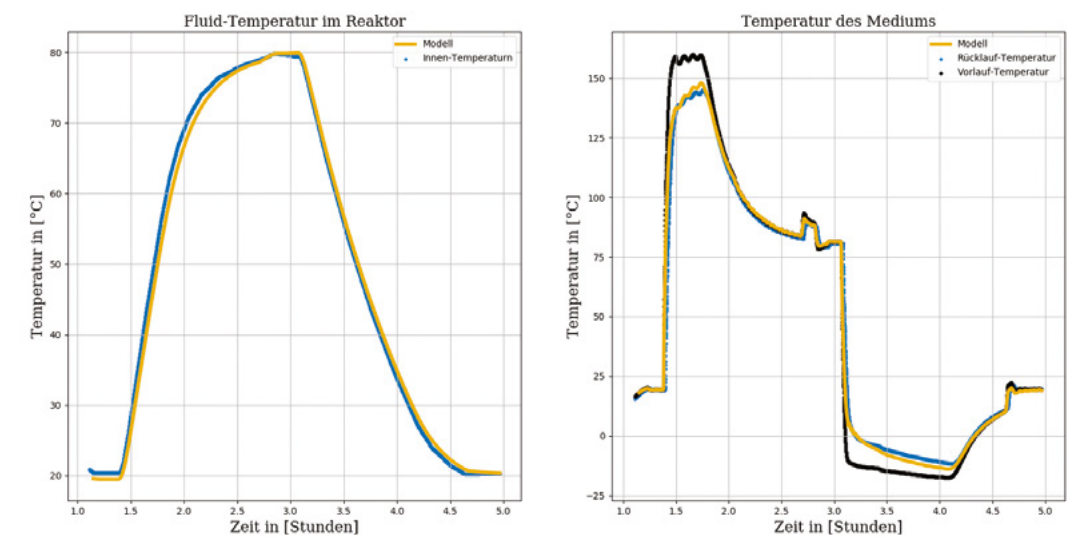


Abbildung 1: Vergleich Simulationsergebnisse des Chemie-reaktors mit Messdaten aus dem Labor

Ausgangslage

Die Regelungseinheit von Temperiergeräten zielt darauf ab, die Temperatur eines Mediums am Austritt aus dem Gerät auf einen Sollwert oder ein definiertes Sollwertprofil zu regeln. Dazu wird ein PI-Regler (intern) für die Vorlauf-Temperaturregelung verwendet. Auf der Gegenseite ist der am Temperiergerät angeschlossene Prozess nur sehr bedingt bekannt. Das Ziel ist es nun, eine intelligente 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. Dieser Regler (externer Regler) soll sich adaptiv auf die angeschlossenen Prozesse anpassen und wird mit dem Regler für die Vorlauf-Temperatur (interner Regler) in eine Regler-Kaskade eingebettet. Der externe Regler liefert als Stellgrösse eine Solltemperatur für den darunterliegenden internen Regler. Für die Entwicklung des intelligenten Reglers können unterschiedliche Institute mit einbezogen werden. Diese geben zusätzliches Expertenwissen, Daten für die Validierung der Modelle und die Möglichkeit reale Versuche im Labor zu fahren.

Ablauf des Innosuisse-Projekts

Zu Beginn des Projekts sind die Prozesse der verschiedenen Anwendungen der Temperiergeräte analysiert worden. Basierend darauf konnten anschliessend mathematische Modelle entwickelt werden, die die Realität möglichst gut widerspiegeln. Diese Modelle beinhalten neben den Materialeigenschaften auch empirische Gleichungen. Mit Hilfe von Messdaten aus einem Labor und dem Simulationstool Moldflow konnten die Modelle validiert werden. Zusätzlich floss Expertenwissen in die Validierung mit ein. Die Modelle dienten dann als Basis für den Regler-Entwurf.

Für den externen Regler (MPC) wurde eine modellbasierte prädiktive Regelung (MPC) mit Unknown-Input-Observer aufgebaut. Da der MPC ein Modell für die Berechnung der Stellgrösse benötigt, wurde in der Simulation eine Online-Identifikation für den nominalen Fall implementiert. Parallel dazu wurde ein weiterer Regler für die Vorlauf-Temperatur-Regelung (interner Regler) entwickelt. Das Gesamtsystem mit MPC (externe Regelung), PI-Regler (interne Regelung), Temperiergerät und angeschlossenem Prozess wurde mit Hilfe einer Parameterstudie auf die Robustheit und der Ausregelung beurteilt.

Modellierung & Simulation

Für die Auslegung des Reglers müssen Modelle der jeweiligen Anwendung gebildet werden. Das Ziel dieser Modelle ist es, das thermische Verhalten der Systeme widerzuspiegeln. Hier sind Modelle für einen Chemiereaktor und für ein Spritzgusswerkzeug entwickelt worden.

Chemiereaktor

Für den Chemiereaktor sind die mit dem Modell entstandenen Simulationsdaten mit Messdaten von einem realen System verglichen worden (siehe Abbildung 1). Die Messdaten stammen von einem 2 m³ umfassenden Reaktor, bei dem Wasser auf- und abgekühlt wurde. Mit diesen Daten konnte das Modell verglichen und validiert werden. Nachfolgend ist die Validierung des Chemiereaktors dargestellt.

Spritzgusswerkzeug

Massgebend für die physikalischen Phänomene im Werkzeug sind die Wärmeleitung und die Wärmeübergänge. Für die Bildung des Modells wird ein Spritzgusswerkzeug vom Institut für Kunststofftechnik in einer CAD-Software aufgebaut. Dieses Werkzeug ist nachfolgend dargestellt (Abbildung 2).

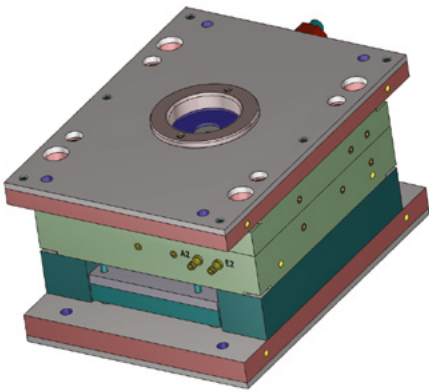


Abbildung 2: Spritzgusswerkzeug

Das Werkzeug ist 146kg schwer und die Kavität fasst 11g Kunststoff. Mit diesem Spritzgusswerkzeug wird ein genormter Zugstab hergestellt. Für die Abkühlung sind die Kühlkanäle entscheidend. Um nun das Werkzeug auszulegen, wurden die thermischen Vorgänge mit Moldflow simuliert (Abbildung 3).

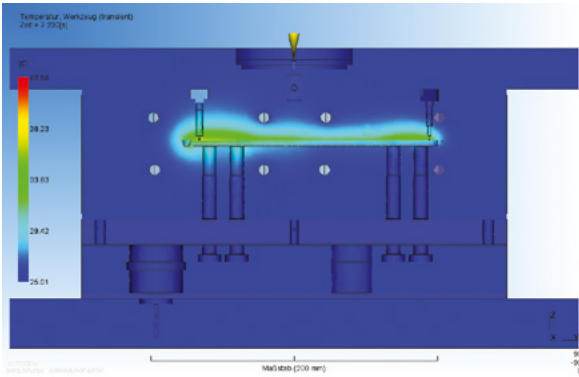


Abbildung 3: Simulation in Moldflow

Basierend auf der Finite-Element-Methode (FEM) in Moldflow konnte ein vereinfachtes Modell mit wenigen Zustandsvariablen abgeleitet werden

Modellprädiktiver Regler

Für den externen Regler wird ein modellprädiktiver Regler (MPC) verwendet. MPC-Regelungen sind die einzigen bekannten Regelungsalgorithmen, in denen Begrenzungen (constraints) für die Steuer- und Regelgrößen vorgegeben werden können, die im Regelalgorithmus selbst explizit und systematisch berücksichtigt werden. MPC-Regler verfügen über ein internes Prozessmodell, mit dessen Hilfe der zukünftige Verlauf der Regelgrößen über einen grösseren Zeithorizont vorhergesagt wird. Auf Grund der vorausschauenden Arbeitsweise ist es möglich, bereits zu einem früheren Zeitpunkt auf künftige Abweichungen von Sollwerten oder sich anbahnende Grenzwertverletzungen zu reagieren.

Unknown-Input-Observer

Da das System keine Information über den externen Prozess hat, kann es passieren, dass das identifizierte Modell nicht mehr mit der Realität übereinstimmt. Diese Abweichungen führen dazu, dass die Performance des Reglers verschlechtert wird. Auch können im Fall des Reaktors chemische Reaktionen stattfinden, die hoch nichtlinear sind und zu Regler-Instabilitäten führen. Um dem entgegenzuwirken, fliessen diese Modellungenauigkeiten in eine Störgrösse ein, die vom Unknown-Input-Observer geschätzt wird. Diese fliesst anschliessend in das Optimierungsproblem des MPC mit ein. Dadurch hat der MPC zusätzliche Informationen über den Prozess und kann sich adaptiv anpassen.

Parameterstudie Chemiereaktor

Nachfolgend ist die Simulation des Gesamtprozesses für einige Szenarien dargestellt. Die nachfolgende Graphik (Abbildung 4) zeigt, dass der MPC mit dem Unknown-Input-Observer auf die gewünschte Innentemperatur des Reaktors regeln kann.

Des Weiteren wurde von links nach rechts die Masse des Reaktors vergrössert und von oben nach unten ist das Medium geändert worden. Auch wurde das Gesamtsystem mit einer Dosierung simuliert.

Es ist zu sehen, dass die Ist-Temperatur des Reaktors (blaue Linie) die Referenztemperatur (schwarz gestrichelt) erreicht, obwohl die Änderung zwischen den Szenarien gravierend ist und der MPC mit den Modellungenauigkeiten die Stellgrösse berechnen muss. Dies funktioniert hier nur, weil die geschätzte Störgrösse des Unknown-Input-Observers in das Optimierungsproblem des MPC einfliesst. Somit hat der MPC eine Möglichkeit auf die Modellungenauigkeiten zu reagieren. Auch bei einer Dosierung mit einer chemischen Reaktion kann der MPC wieder auf die Referenztemperatur regeln. Anhand dieser Simulationen wird gezeigt, dass der MPC mit Unknown-Input-Observer stabil läuft.

Parameterstudie Spritzgusswerkzeug

Beim Spritzgusswerkzeug wird auf die Temperatur T3 geregelt, die 25°C betragen soll. Dabei ist die Temperatur T3 die Temperatur der Werkzeugmasse, in der die Kühlkanäle verbaut sind. Nun wird der Kunststoff hineingespritzt. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 dargestellt.

Anhand Abbildung 5 ist zu erkennen, dass der MPC wie gewünscht auf die Referenztemperatur regeln kann.

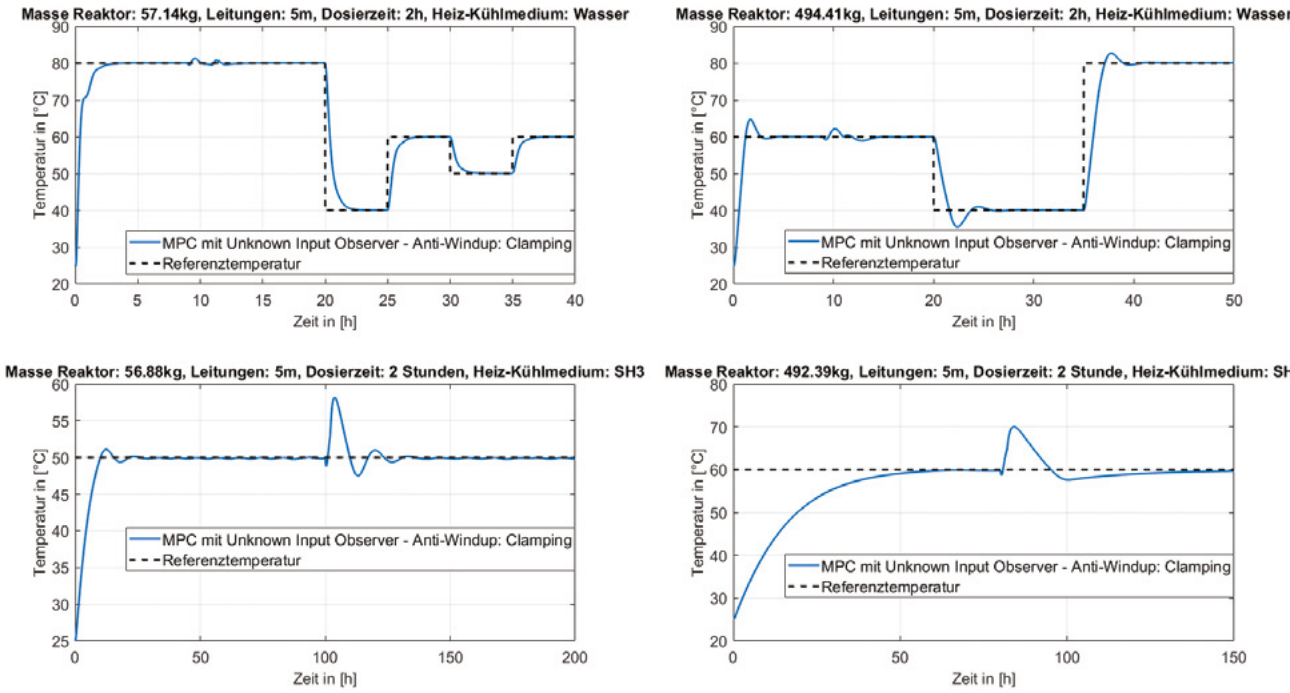


Abbildung 4: Parameterstudie Chemiereaktor

Ergebnisse

Im Innosuisse-Projekt wurden einerseits Modelle entwickelt, welche die physikalischen Phänomene der verschiedenen Anwendungen vom Kunden abdecken. Andererseits wurden diese Modelle mit realen Daten verglichen, validiert und in das Framework von Tool-Temp integriert. Hiermit wurde ein optimaler Wissensaustausch zwischen Projekt-Team und Auftraggeber gewährleistet. Weiter wurde ein selbstlernender MPC entwickelt und mit einem «Unknown-Input-Observer» ergänzt. Dieser selbstlernende MPC wurde anhand einer Parameterstudie mit einem Chemiereaktor und einem Spritzgusswerkzeug auf die Robustheit hin bewertet. Es konnte gezeigt werden, dass der Regler stabil ist und trotz der Modellungenauigkeiten auf die Referenztemperatur regeln kann. Die Versuche zeigen somit, dass bei Modellungenauigkeiten der Unknown-Input-Observer essenziell ist.

Auftraggeber

FHNW In Zusammenarbeit mit Tool-Temp AG

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 Muttenz, andreas.zogg@fhnw.fhnw

Halime Philipp, Leiterin Werkzeugtechnik, Institut für Kunststofftechnik, halime.philipp@fhnw.ch

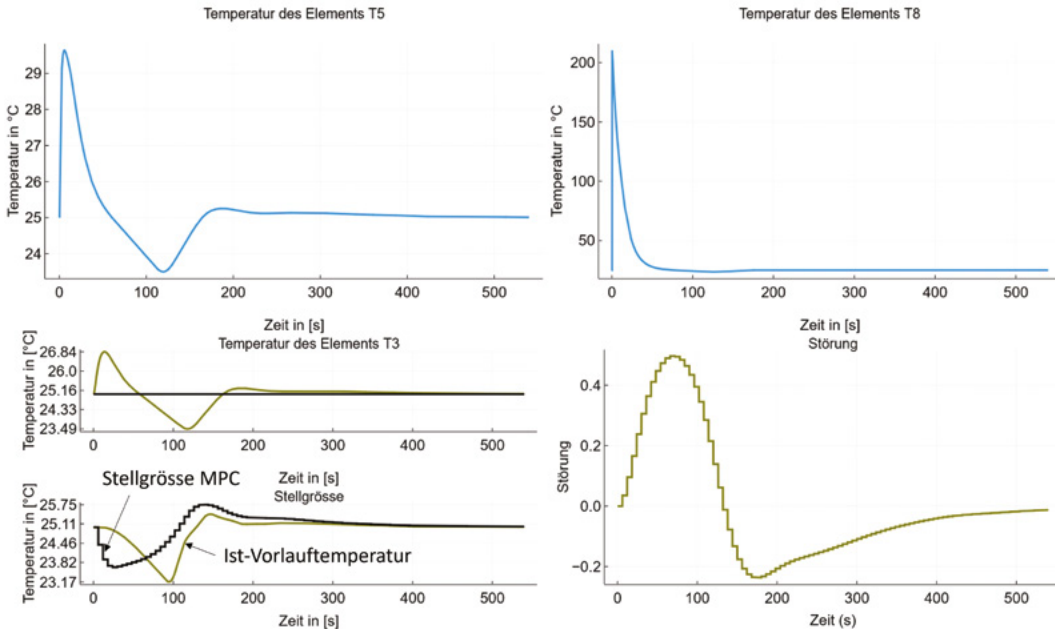


Abbildung 5: Parameterstudie Spritzgusswerkzeug

Regelung eines Herstellungsprozesses faserverstärkter Polymerhalbzeuge

Kompositwerkstoffe ersetzen zunehmend traditionelle Werkstoffe aufgrund ihres geringen Gewichts und breiten Anwendungsbereichs. Die nachgefragte Menge an Polymerhalbzeugen steigt weltweit und verlangt nach effizienten Prozessen. Heute entstehen bei der Produktion nicht unerhebliche Mengen an Ausschuss, welcher durch ein neuartiges Empfehlungssystems minimiert werden soll.

Daniel Schmisrauter

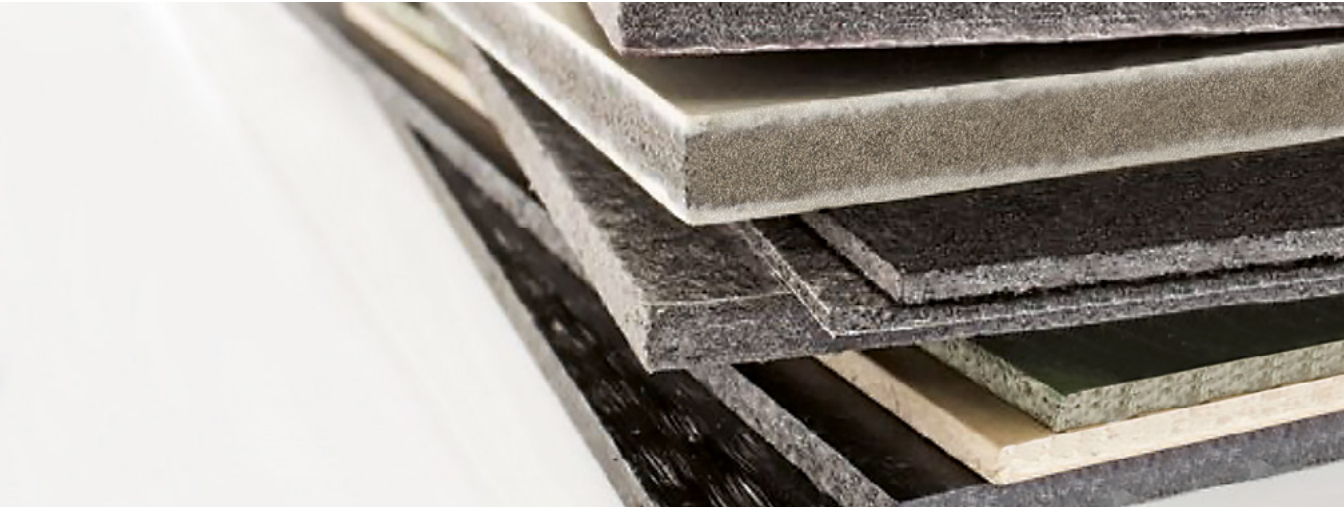


Abbildung 1: Faserverstärkte Polymerhalbzeuge

Ausgangslage

Der Herstellungsprozess von faserverstärkten Polymerhalbzeugen in einem speziellen textilen Verfahren ist ein kompliziertes Unterfangen. Auf dem Weg von rohen Glas- und Polymerfasern zum Halbzeug als Plattenware (Abb. 1) durchläuft das Material eine Vielzahl an Prozessschritten welche bis zu einer Stunde dauern. Da das Endprodukt uniform über die gesamte Charge sein muss und die zulässige Toleranz der Materialdicke sehr gering ist, kommt es vor, dass das Produkt die geforderte Qualität nicht erreicht und als Ausschuss abgeschrieben werden muss. Meist wird eine Abweichung der erforderlichen Qualität erst am Ende der Prozesskette festgestellt, was aufgrund der langen Prozesszeit zu einem Ausschuss von mehreren hundert Kilogramm Material führt. Dies hat, neben den Kosten für Maschinenzeit und Rohstoffe, auch Auswirkungen auf die Umwelt, da nicht alle Produkte leicht recyclebar sind und als Abfall deponiert werden müssen.

Im Rahmen eines Innosuisse-Projekts soll der Ausschuss reduziert werden, indem während des laufenden Prozesses erhobene Daten analysiert und zur frühzeitigen Erkennung

von Problemen und Ergreifen entsprechender Gegenmassnahmen genutzt werden.

Idee

Die zentrale Idee ist, mithilfe aufgezeichneter Prozessdaten, häufig auftretende Fehlerfälle zu identifizieren, zu klassifizieren und ein System zu entwickeln, welches es ermöglicht bei Auftreten von Anomalien frühzeitig geeignete Gegenmassnahmen einzuleiten, um Ausschuss zu vermeiden. Dieses Expertensystem wird mithilfe historischer Daten trainiert und soll anschliessend mit der Produktionsanlage verbunden werden, um anhand von Livewerten dem Maschinenführer geeignete Parameteränderungen zu empfehlen.

Systemanalyse

Um sich mit der Thematik der Produktion von Faserverbundwerkstoffen vertraut zu machen, erfolgte in einem ersten Schritt die Einarbeitung und Literaturrecherche. In diesem Zusammenhang stellte sich heraus, dass entsprechende Fachliteratur häufig von Experten aus dem Textilbereich stammt.

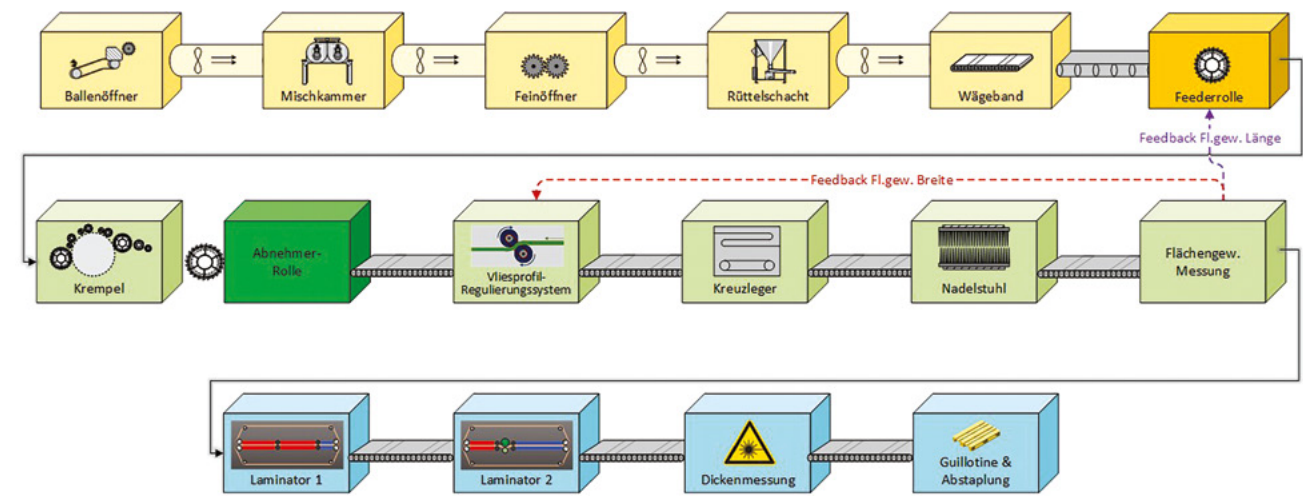


Abbildung 2: Herstellungsprozess vereinfacht

Als dann wurden die einzelnen Anlagenteile analysiert um das zugrundeliegende Prinzip des Herstellungsprozesses zu verstehen. In diesem Zusammenhang wurde das Funktionsprinzip (Abb. 2) sowie wichtige Kenngrößen und Eigenschaften der spezifischen Anlage dokumentiert. Anschliessend wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Datenanalyse und Prozessdesign der ZHAW die insgesamt rund 1000 Gigabyte Messdaten aufbereitet und in eine SQL-Datenbank zur weiteren Untersuchung überführt. Mithilfe der vorausgehenden Prozessanalyse konnten die Messwerte der verschiedenen Prozessschritte in eine zeitliche Relation gesetzt werden, so dass jeder Wert derselben Stelle im Material entspricht. Dies ermöglichte die Rückverfolgung der Ursache einer Fehlproduktion beziehungsweise der Anfälligkeit auf Fehlerfortpflanzung im Prozess. Es konnte dabei gezeigt werden, dass die früh im Prozess auftretenden Schwankungen im Flächengewicht eine untergeordnete Rolle spielen und ein Eingriff an diesem Teil des Systems nur unzureichend möglich ist. Die Prozessanalyse spielte dann auch beim folgenden Schritt, der Bestimmung der Eingriffsmöglichkeit, eine wichtige Rolle. Es wurde nach einer Stelle im Prozess gesucht, an welcher die Möglichkeit besteht, die Prozessparameter dahingehend zu manipulieren, dass auftretende Dickenabweichungen (Abb. 3) noch korrigiert werden können damit ein uniformes Produkt entsteht. Zusätzlich müssen an dieser Stelle quantitative Werte zur Materialdicke und Aktorposition verfügbar sein, die es erlauben eine Abweichung zu erkennen und durch Anpassung der Aktorparameter auszugleichen. Eine solche Stelle wurde beim Prozessschritt Laminieren gefunden.

Datenanalyse und Selektion

Die Schwierigkeit bei der Klassifikation der Daten in vorliegendem Prozess ist, diese in der Qualität zu beurteilen. Da die Datenaufzeichnung neu installiert wurde, konnten zuvor keine Erfahrungen bezüglich Korrektheit der ca. 800 geloggtten Parameter gesammelt werden. Aus diesem Grunde war es wichtig, sich vor der detaillierten Auswertung eine Selektion lösungsrelevanter Parameter zu machen, was in enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner geschah.

Die selektierten Messreihen wurden anschliessend näher analysiert, in zeitliche Abschnitte nach Chargennummer unterteilt sowie auf systematische und zufällige Messfehler geprüft. Während der Aufbereitung konnten neue Erkenntnisse bezüglich Anlagenverhalten gesammelt werden, welche dem Hersteller helfen, den Prozess bereits vor Abschluss des Projekts zu optimieren (Abb. 4).

Modellierung

Für das Empfehlungssystem, welches den Prozess in Zukunft überwachen und dem Operator entsprechende Handlungsempfehlungen vorschlagen soll, musste ein physikalisches Modell des Prozesses entworfen werden. Dazu wurde auf eine Mischung aus White- und Blackbox Modelling gesetzt. Während einige physikalische Zusammenhänge bekannt und eindeutig sind (Whitebox) gibt es im vorliegenden Prozess einen hohen Anteil an Kenngrößen, welche nur aus den historischen Daten hergeleitet werden können (Blackbox). Um diese materialspezifischen Eigenschaften zu bestimmen mussten die Daten weiter gefiltert und von Artefakten befreit werden. Dies wurde in

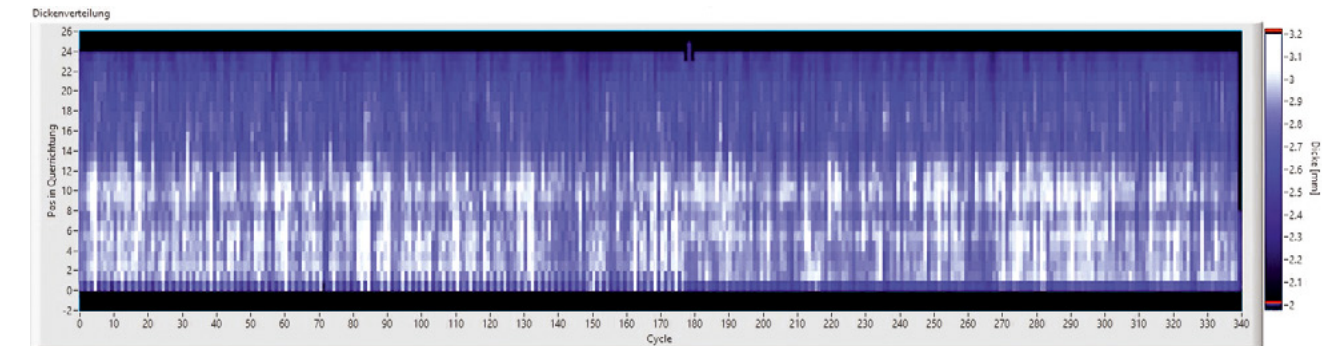


Abbildung 3: Typisches Dickenprofil des fertigen Halbzeugs

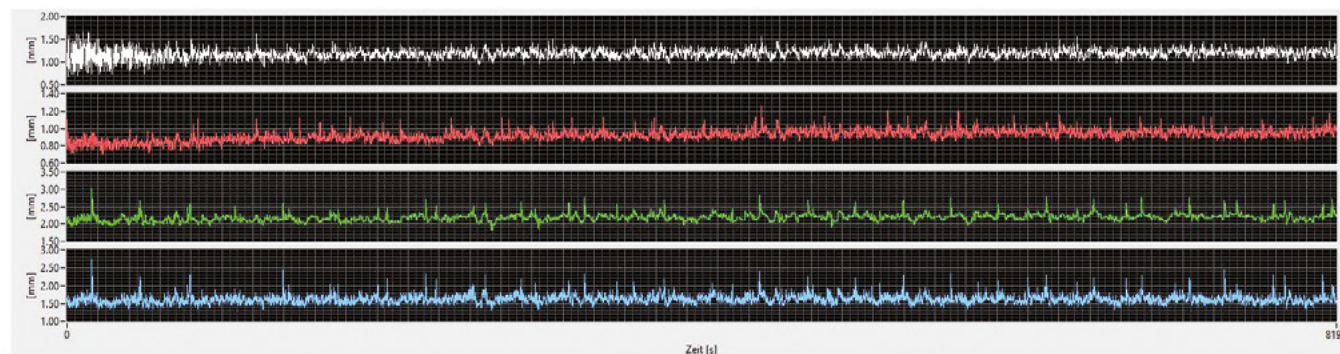


Abbildung 4: Messreihen vor der Datenaufbereitung

LabVIEW realisiert aus welchem der direkte Zugriff auf den externen SQL-Datenbankserver (Maria-DB) erfolgt. Mittels der geschriebenen Software werden die Logdaten der einzelnen Produktchargen eingelesen und die materialabhängigen Kennwerte berechnet.

Empfehlungssystem

Im weiteren Verlauf des Projektes wird nun das Empfehlungssystem mittels LabVIEW programmiert und basierend auf den historischen Trainingsdaten eine Lookup-Table mit den spezifischen Materialkennwerten erstellt und dieses mit der Produktionsanlage verbunden. Das Empfehlungssystem assistiert dabei dem Maschinenführer live und unterstützt diesen bei der Erkennung von abweichendem Systemverhalten (Abb. 5).

Zwischenfazit

Die Kombination von klassischer Modellierung über bekannte physikalische Zusammenhänge und dem Einsatz von Big Data macht es möglich, auch komplexe proprietäre Systeme zu analysieren und deren Verhalten zu beschreiben. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, eine

feingliedrigere Optimierung des Prozesses vorzunehmen, da dadurch auch bislang unerkannte Schwachstellen entdeckt werden, welche im Idealfall direkt adressiert werden. Damit wird die Komplexität einer zusätzlichen Regelung verringert, da auf Phänomene mit bekannter Ursache agiert statt nur reagiert werden kann.

Angesichts der bisher vielversprechenden Ergebnisse, wird das Forschungsprojekt mit Unterstützung der Innosuisse weitergeführt.

Industriepartner

Mitsubishi Chemical Advanced Materials Composites AG, Dr. Andreas Kliner

Projektteam

Daniel Schmissrauter, wiss. Assistent und Masterstudent MSE
Dr. Thoralf Mildenerger, Institut für Datenanalyse und Prozessdesign ZHAW
Prof. Dr. Thomas Besselmann, Dozent für Regelungstechnik

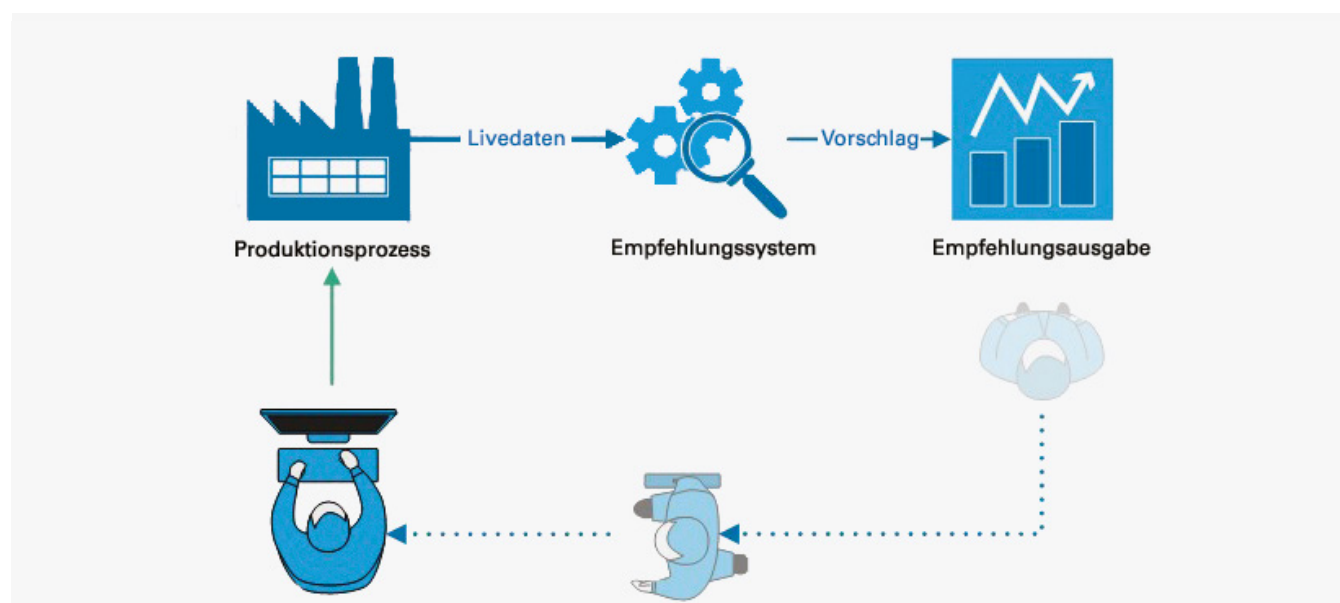


Abbildung 5: Prinzip Empfehlungssystem

Ihre Weiterbildung in Automatisierungstechnik

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

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

Nächster Start: 4. September 2023

www.fhnw.ch/mas-automation



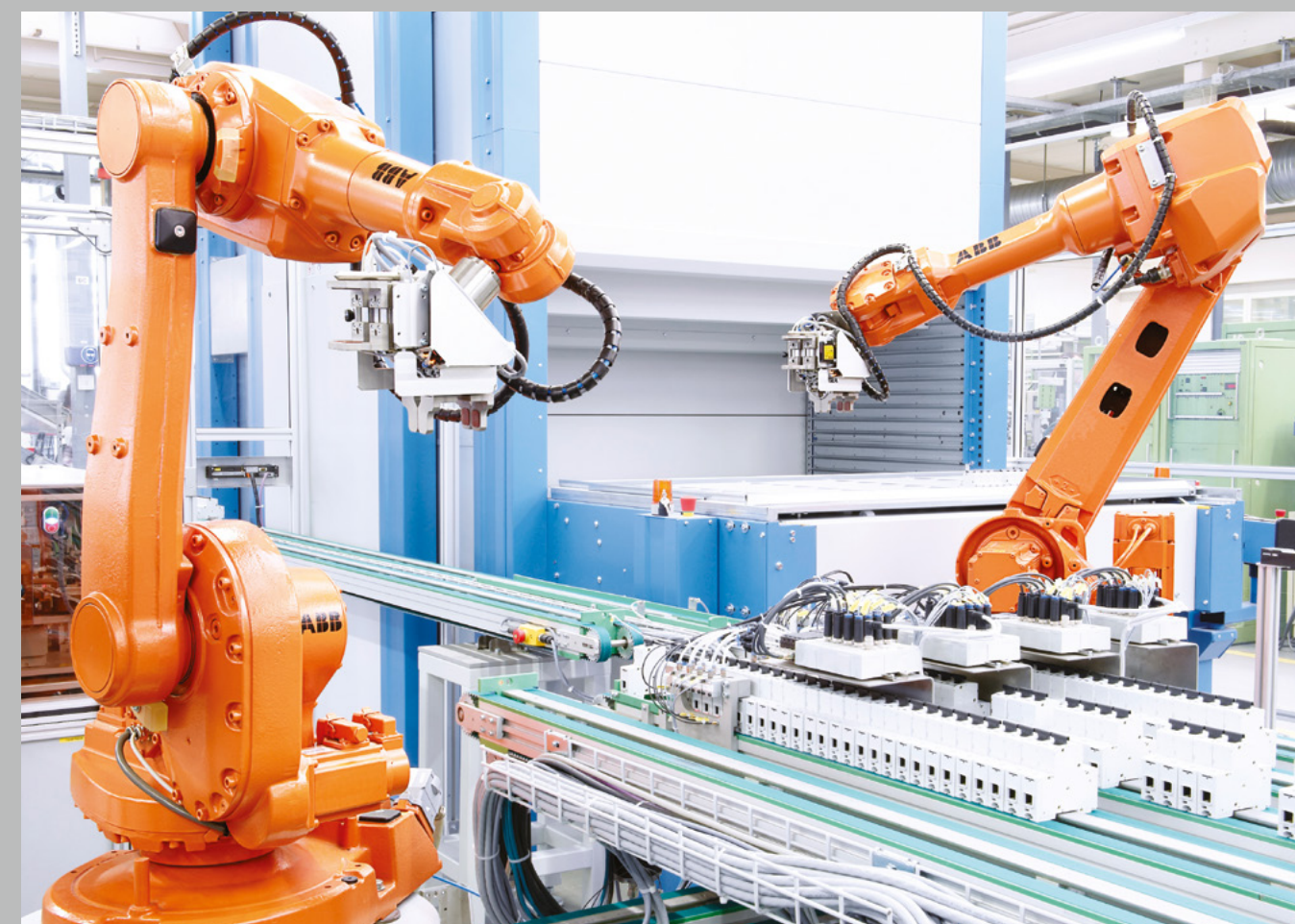
Kontakt

Prof. Dr. Jürg P. Keller, Studiengangleiter MAS Automation Management,
T +41 56 202 77 62, juerg.keller1@fhnw.ch

Gabriella Gerber, Sekretariat, T +41 56 202 72 18,
weiterbildung.technik@fhnw.ch

Besuchen Sie unsere Infoveranstaltung – wir informieren Sie gerne:
Montag, 27. Juni 2022, 18.15 Uhr online
Mittwoch, 24. August 2022, 18.15 Uhr in Windisch
Montag, 31. Oktober 2022, 18.15 Uhr online

www.fhnw.ch/weiterbildung-technik



Aligner 4.0 - Cyberphisches System für die Laserbearbeitung von Zahnschienen

Mit dem Projekt Aligner 4.0 will das Start-up Nivellmedical AG ihren Produktionsprozess weiter automatisieren. Der Herstellungsprozess der Zahnschiene (auch Aligner) soll nach den Schlüsselkonzepten von Industrie 4.0 digitalisiert werden, wobei jeder Aligner ein Unikat ist (Losgrösse 1). Zentral für das Innosuisseprojekt ist die Entwicklung eines neuartigen cyber-physischen Systems (CPS) für die ganzheitliche Planung, Kontrolle und Regulierung der Produktion.

Vincent Märki

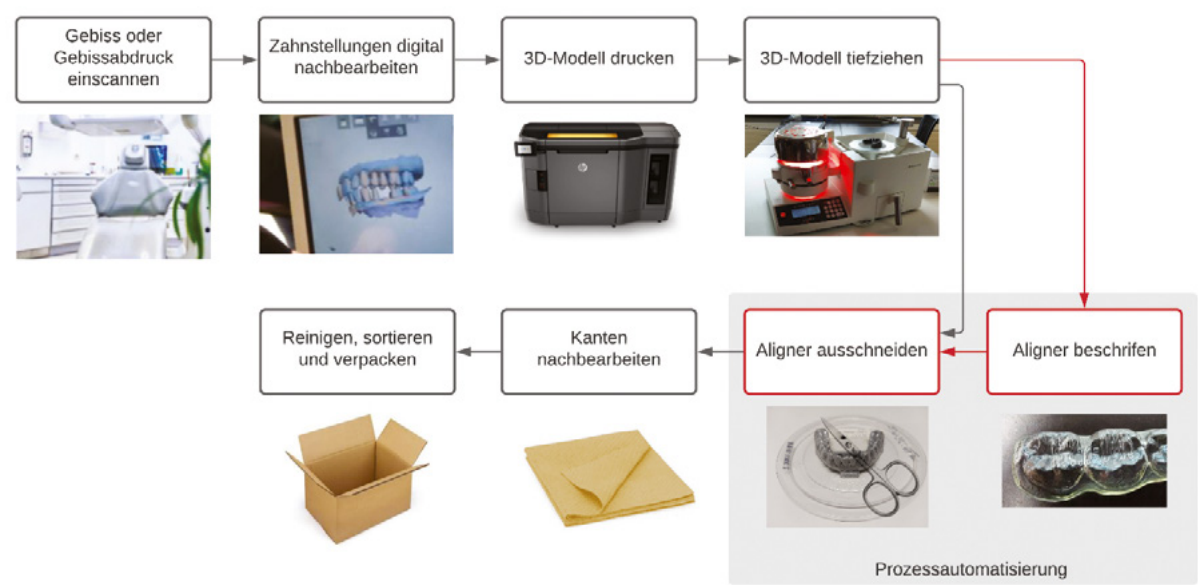


Abbildung 1: Herstellungsprozess von Alignern der Nivellmedical AG.

Das Produkt

Die 2015 gegründete Firma Nivellmedical AG produziert Aligner, welche unter dem Produktnamen Nivellipso vertrieben werden. Die Aligner bieten eine Alternative zu der herkömmlichen Zahnspange an (Abbildung 2). Die Vorteile sind im Wesentlichen die geringeren Kosten, die einfachere Handhabung in Bezug auf Reinigung und Pflege und die Möglichkeit, den Aligner jederzeit herauszunehmen. Eine Alignertherapie benötigt 30-60 unterschiedliche Aligner, die alle eine einzigartige Form aufweisen. Ein analytisches Modell des Herstellungsprozesses (Abbildung 1), basierend auf den digitalen Zahndaten, soll zusammen mit einer neu entwickelten Laserbearbeitungsanlage eine automatisierte Produktionsplanung und -ausführung ermöglichen.

Automatisierung

Die Bearbeitungsschritte nach dem 3D-Drucken der Modelle und Tiefziehen der Alignerfolie soll nun im Rahmen des Innosuisseprojektes automatisiert werden. Mittels einer Laserbearbeitungsanlage werden zwei Produktionsschritte abgedeckt. Beschriften des Aligners, sowie das Abschneiden des überschüssigen Materials.

Markierprozess

Der Aligner wird durch einen Laserscanner mit einem eindeutigen ID beschriftet. Dies erlaubt dem Endkunden, diese zu unterscheiden und in der richtigen Reihenfolge anzuwenden.

Es wird ein Lösungsansatz vorgestellt, mit dem eine geeignete Stelle für die Beschriftung auf jedem Aligner gefunden werden kann (Abbildung 3).



Abbildung 2: Anwendung einer Zahnschiene.

Da der Laserscanner nur einen bestimmten Fokusbereich besitzt, gibt es Einschränkungen bei der Wahl der Positionierung auf dem Aligner. Die Beschriftung erfolgt senkrecht auf die xy-Ebene. So wird sichergestellt, dass die definierte Position auch immer angefahren werden kann. Es wurde ein Optimierungsproblem formuliert, das für die Beschriftung geeignete Flächen findet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 simuliert dargestellt. Die Koordinaten für die Beschriftung lassen sich anschliessend auf die CNC-Steuerung (computerized numerical control) übertragen. Ein beschrifteter Aligner ist in Abbildung 4 ersichtlich.

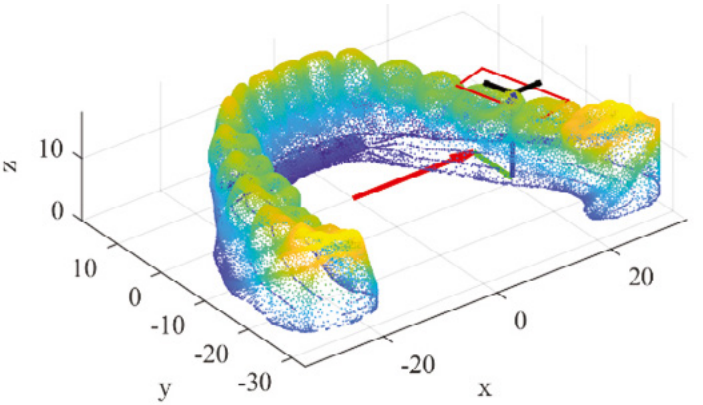


Abbildung 3: Zielposition des Positionierungsalgorithmus für die Beschriftung.

Schneideprozess

Durch die Laserbearbeitungsanlage sollen mehrere Arbeitsschritte des früheren Produktionsprozesses ersetzt werden. Das zeitintensive Ausschneiden der Aligner von Hand soll entfallen, ebenso die darauffolgenden Schritte Schleifen und Polieren der Kanten (Abbildung 1, Schritt Schneiden). Durch den Laser wird das Material aufgeschmolzen, es entsteht ein Schnitt mit bereits geglätteter Kante.

Der Laserschneideprozess benötigt eine exakte Steuerung der Position des Lasers. Ist die Bearbeitungsgeschwindigkeit nicht konstant, kommt es zu Abweichungen der Streckenenergie. Der Schnitt wird nicht homogen. Mittels CAM-System (computer aided manufacturing) wird der G-Code erzeugt (Abbildung 5). Dieser wird von der CNC-Steuerung interpretiert und die Trajektorie abgefahren. Ein Prototyp eines solchen CAM-Systems konnte spezifisch für die Anwendung im Dentalbereich entwickelt werden. Das Ergebnis der beiden Produktionsschritte Markieren und Schneiden ist in Abbildung 6 sichtbar.



Abbildung 4: Beschriftung auf dem Aligner.

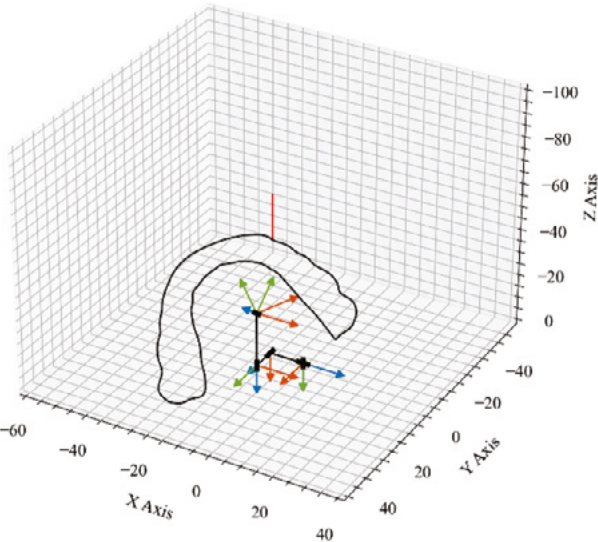


Abbildung 5: Kinematik des Achsensystems.

Fazit und Ausblick

Das Innosuisseprojekt ist ein Folgeprojekt mit der Nivellmedical AG. Mit dem Prototyp kann gezeigt werden, dass die zuvor geplanten Automatisierungsschritte umsetzbar sind. Für den Einsatz der Anlage beim Industriepartner muss noch die Anbindung an die IT-Infrastruktur erfolgen, damit die CAD-Modelle und Schnittliniendaten automatisch geladen und verarbeitet werden können.

Industriepartner

Nivellmedical AG
Milan Stojanovic, CEO
Nikola Mandic, CTO

Projektteam

Prof. Dr. Thomas Besselmann, Dozent für Mechatronik, thomas.besselmann@fhnw.ch
Prof. Dr. Ronald Holtz, Teamleiter Laser-Technologie am Institut für Produkt- und Produktionsengineering, ronald.holtz@fhnw.ch
Vincent Märki, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent, vincent.maerki@fhnw.ch
Marco Guilherme, Wissenschaftlicher Assistent, marco.guilherme@fhnw.ch
Oliver Röthlisberger, Bachelorstudent, oliver.roethlisberger@students.fhnw.ch



Abbildung 6: Lasergeschnittener Aligner.

Mess- und Regelungstechnik für intelligente Biegemaschinen

Optimierte Assistenzsysteme aus dem Projekt Sophisticated Digitalized Closed-Loop Bending Technology mit der Haeusler AG ermöglichen die präzise automatische Fertigung von komplexen Geometrien. Weitere Innovationen erhöhen die Sicherheit und Robustheit des Rundbiegeprozesses.

Max Edelmann

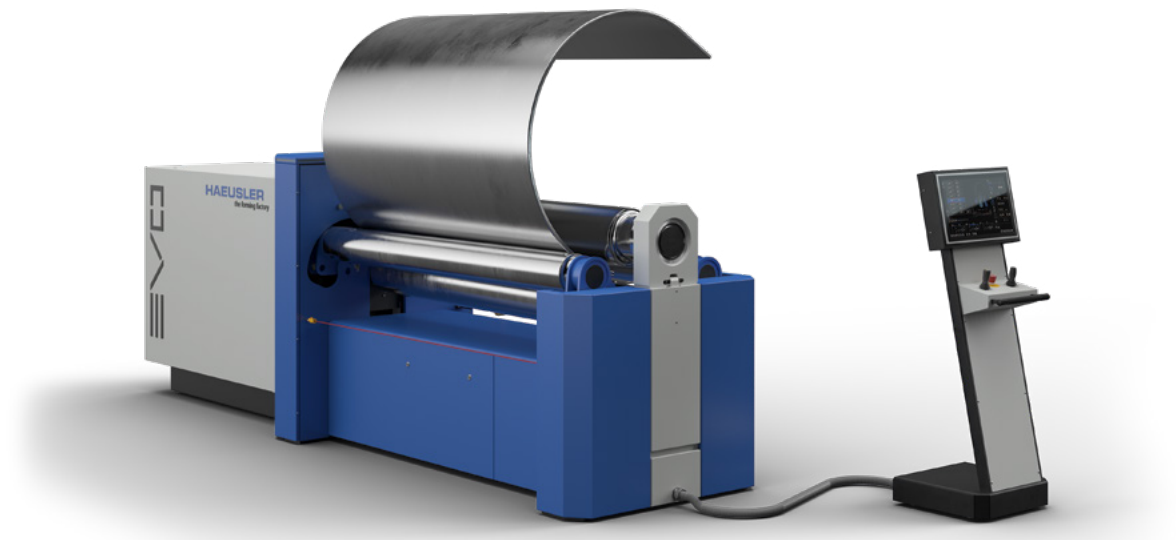


Abbildung 1 Vierwalzenrundbiegemaschine der Evo-Linie

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 21000 mm kalt umgeformt. Eine Vierwalzenbiegemaschine ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die häufigste Biegeanwendung ist das Rundbiegen von einem flachen Blech zu einem geschlossenen Hohlzylinder. Bei Einzelteilerfertigung wird der Prozess hauptsächlich durch einen erfahrenen Maschinenführer im Handmodus kontrolliert. Das Blech wird in mehreren Durchgängen durch die Maschine gefördert und dabei gebogen. Nach jedem Durchgang wird eine der seitlichen Walzen weiter zugestellt, bis der gewünschte Radius erreicht ist.

Bei grossen Losgrößen wird häufig ein CNC-Programm für den Biegeprozess definiert. Selbst erfahrene Maschinenführer können mehrere Tage aufwenden, um einen Biegeprozess einzurichten. Die Herangehensweise zur Beherrschung der Komplexität zwischen Maschinenparametern und der resultierenden Form erfordert ein iteratives Vorgehen der Programmierung und Fertigung.

Innovationsergebnisse

Im Rahmen der Zusammenarbeit wurden ein neuartiger Biegeprozess entwickelt und ein Prototyp realisiert und getestet. Der Prototyp umfasst Assistenzsysteme für die Arbeitsvorbereitung sowie die Produktion. Damit ist der gesamte Fertigungsprozess erstmalig automatisch durchführbar.

Die Rückführung wesentlicher Prozessgrößen steigert die Robustheit gegenüber Prozessunsicherheiten und Störungen signifikant, wobei die kontrollierte reproduzierbare Qualität Ausschuss vermeidet.

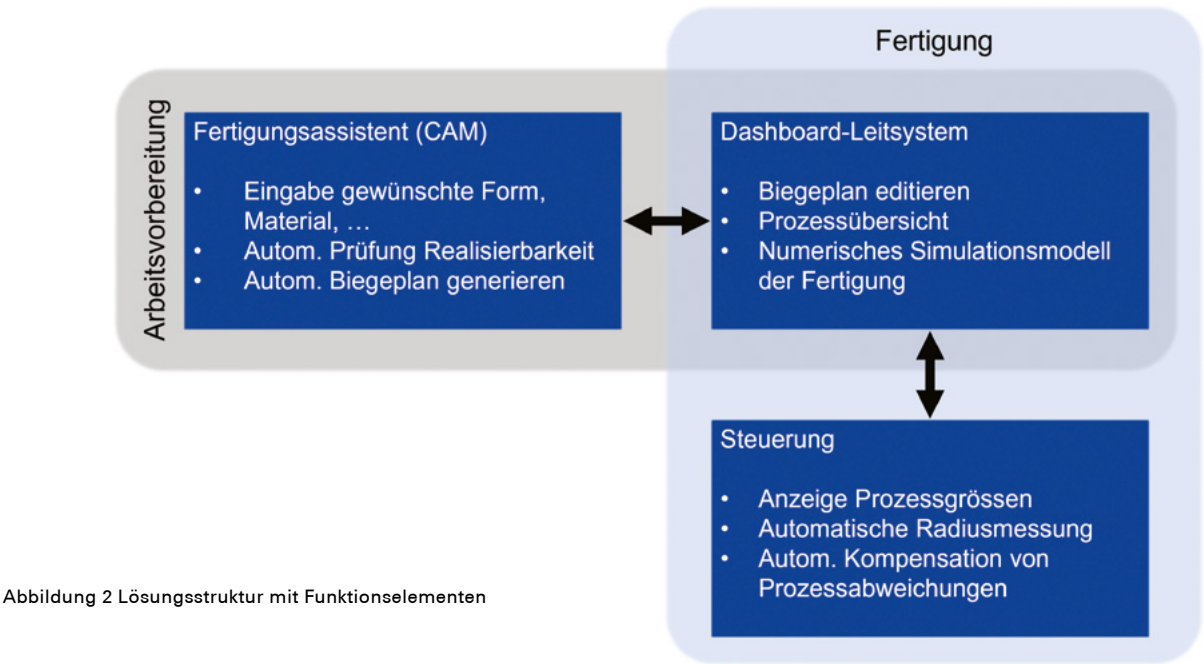


Abbildung 2 Lösungsstruktur mit Funktionselementen

Das Wegfallen von Radiusmessungen und Korrekturmaßnahmen durch den Maschinenführer verringert die Stillstandszeit der Maschine auf null. Zugleich muss der Gefahrenbereich zwecks Messung und visueller Kontrolle nicht mehr betreten werden.

Smarte Biegeprozessplanung

Für die Arbeitsvorbereitung ist eine Softwarelösung entwickelt worden, welche nach Eingabe der gewünschten Form, Materialdaten und Rohteilgeometrie automatisch ein Biegeprogramm erstellt. Dabei werden bestimmte Blechbereiche nacheinander so gebogen, dass die Genauigkeit optimiert und Kollisionen minimiert werden. Abbildung 2 zeigt die Unterstützung des Bedieners in der Arbeitsvorbereitung. Die Assistenzsysteme reduzieren die Herausforderung und Komplexität der Biegeplanung massiv.

Erweiterung der Fertigungssteuerung

Eine bestehende Vierwalzenbiegemaschine der Haeusler AG mit zugehöriger Biegesoftware wird weiterentwickelt. Dadurch wird die automatische Ausführung des generierten Biegeplans ermöglicht.

Ein numerisches Simulationsmodell beschreibt die ideale Fertigung. Wichtige Prozessgrößen der realen Fertigung werden fortlaufend automatisch erfasst und verarbeitet. Zwei taktile Radiusmesssysteme und ein optisches Positionserfassungssystem sind erforderlich und nachrüstbar. Machine-Learning-Methoden minimieren die Modellabweichungen mittels der rückgeführten Radien während des Biegeprogrammlaufs für alle nachfolgenden Biegeoperationen. Zudem kann mit den gemessenen Radien das Materialmodell optimiert werden, falls dieses signifikant von den tatsächlichen Materialeigenschaften abweicht.

Das optische Positionserfassungssystem kompensiert fortlaufend den Schlupf zwischen Maschine und Blech

und gewährleistet präzise Biegeformen. Durch den Einsatz des numerischen Simulationsmodells im Zusammenspiel mit den Assistenzsystemen werden die komplexen Zusammenhänge des Blechbiegens optimal abgebildet.

Ausblick

Der entwickelte Prototyp überzeugt durch seine Leistungsfähigkeit und Vielseitigkeit. Die entwickelte Technologie steht kurz vor der Markteinführung und ist eine Weltneuheit mit dem Potential die Zukunft der Rundbiegebranche zu prägen. Bestimmte Teilsysteme sind inzwischen erfolgreich in Spezialmaschinen der Haeusler AG integriert und bieten nachweislichen Kundennutzen.

Ein besonderer Dank geht an die Innosuisse, welche diese Projektarbeit ermöglicht und unterstützt hat.

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

Mechanische Präzisionsfertigung mit Model-Based Definition

Um im Bereich der mechanischen Präzisionsfertigung konkurrenzfähig zu bleiben, ist es essenziell, dass der gesamte Herstellungszyklus effizient abläuft. In Zusammenarbeit mit der FAES-PWR ESTECH AG soll das Potenzial von Model-Based Definition sowie unterstützende Tools für die Fertigung untersucht werden.

Kilian Pedolin

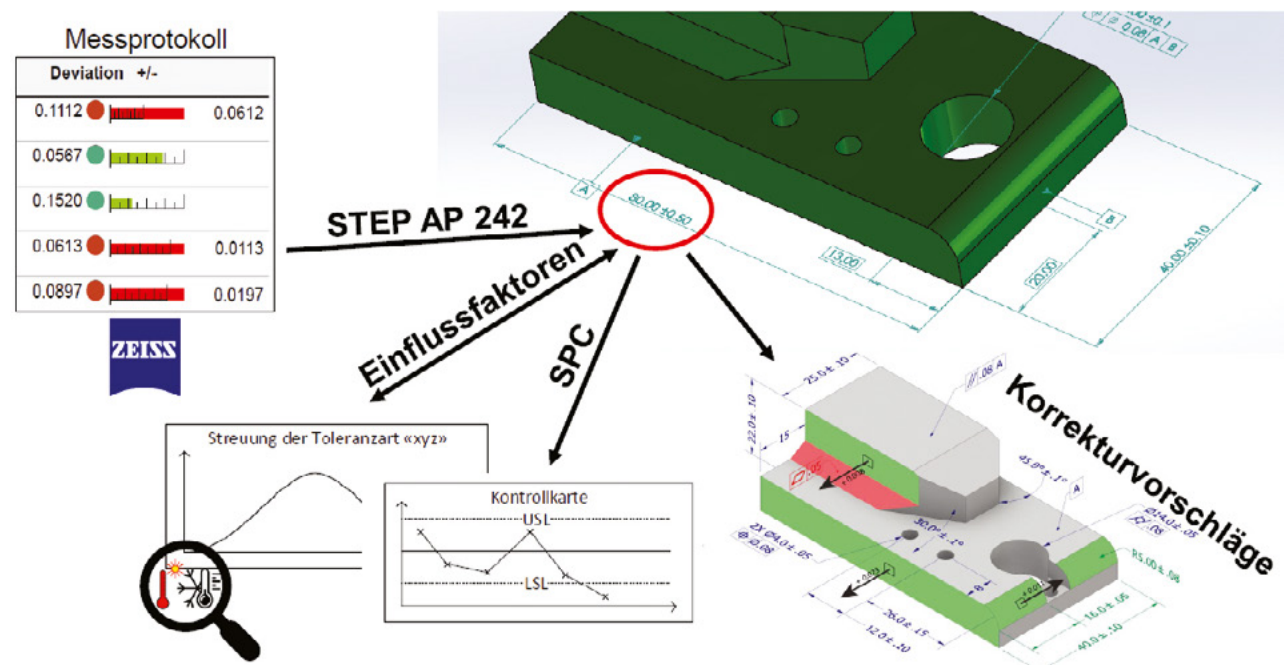


Abbildung 1: Verknüpfung zwischen MBD, Messprotokoll, externen Einflussfaktoren, SPC-Tool und MBD Correction Tool

Model-Based Definition (MBD)

Beim konventionellen Erstellen einer CAD Zeichnung wird das 3D-Modell zweidimensional abgeleitet, sodass viele Informationen verloren gehen. Zudem dokumentieren die Konstrukteure die Informationen zum Bauteil und seiner Fertigung erst auf der Zeichnung, beispielsweise Materialien und Toleranzen. Abhilfe schafft die sogenannte Model-Based Definition (MBD). Diese ermöglicht, alle fertigungsrelevanten Produktfertigungsinformationen (PMI, Product Manufacturing Information) am 3D-Modell zu definieren (Abbildung 2) und eine Beziehung zwischen der MBD-Datei und dem Messprotokoll herzustellen.

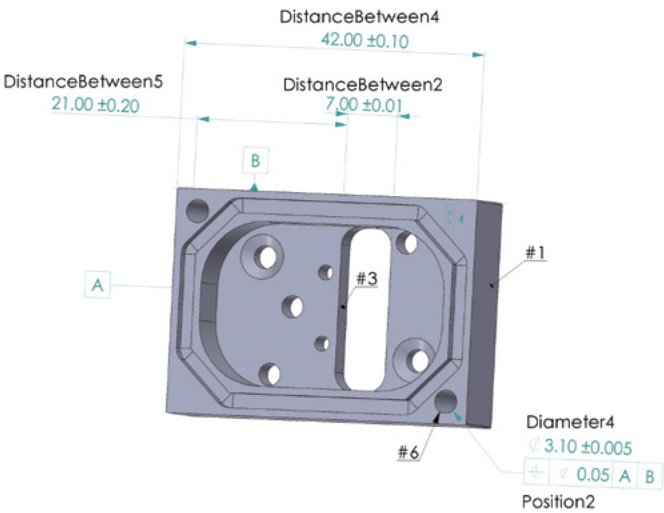


Abbildung 2: Beispiel für ein MBD 3D-Model (STEP AP 242)

Statistisches Prozesskontrolltool (SPC-Tool)

Das entwickelte Tool für die statistische Prozesskontrolle basiert auf den Messdaten der Koordinatenmessmaschine (CMM) und der dazugehörigen MBD-Datei. Ziel ist es, bei der Serienfertigung die Herstellbedingungen zu analysieren und Kontrollkarten zu erstellen, welche frühzeitig intervenieren können, wenn der Prozess nicht mehr statistisch stabil läuft. Durch zusätzliche Experimente im Fräsprozess wurden kritische Einflussfaktoren auf die Herstellgenauigkeit identifiziert, welche unentdeckt bleiben können, wenn kein SPC vorhanden ist.

Toleranzen-Korrekturalgorithmus (MBD Correction Tool)

Wird bei einem fertigen Werkstück festgestellt, dass Toleranzen verletzt wurden, so ist es die Aufgabe eines Polymechanikers, das Programm für die Fertigung entsprechend anzupassen.

Bei komplexen Teilen ist dieser Vorgang zeitaufwändig und zum Teil mit mehreren fehlerhaften Werkstücken verbunden. Der Grund dafür ist, dass der Zusammenhang der vernetzten Toleranzen nur schwer nachvollziehbar ist.

Aus diesem Grund wurde ein Korrekturalgorithmus entwickelt. Alle verletzten Toleranzen werden erkannt und es wird nach den optimalen Korrekturmassnahmen gesucht. In Abbildung 3 ist ein möglicher Korrekturvorschlag für ein einfaches Werkstück dargestellt. Der Polymechaniker kann die vorgeschlagenen Anpassungen entsprechend an der Maschine umsetzen und es können Zeit eingespart und zukünftige fehlerhafte Werkstücke vermieden werden.

Ausblick

Das neue MBD-Format bietet viele Vorteile und die entwickelten Tools konnten bereits getestet werden. Letztgenannte befinden sich noch in der Prototypphase. Sie sollen weiterentwickelt werden. Zum einen soll die Funktionalität weiter ausgebaut werden, zum anderen soll die Bedienung der Tools benutzerfreundlicher sein für den Einsatz beim Industriepartner. Ziel ist es, dass nur noch das erste Werkstück einer Serie fehlerhaft ist. Mit Hilfe der entwickelten Tools sollen ab dem zweiten Werkstück nur noch Gutteile produziert werden. Infolgedessen sinken die Materialkosten. Durch die Integration des Messprozesses in die Fertigung ist es möglich, die Produkteplanungs-, Herstellungs- und Teileeinfahrzeit zu optimieren.

Industriepartner

FAES-PWR ESTECH AG, Reto Crestas,
reto.crestas@estech.ch

Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Advisor,
roland.anderegg@fhnw.ch
Max Edelman, Betreuer, max.edelmann@fhnw.ch

Master-Studierende im Studiengang
Mechatronik & Automation:
Robin Zingrich, robin.zingrich@students.fhnw.ch
Kilian Pedolin, kilian.pedolin@students.fhnw.ch

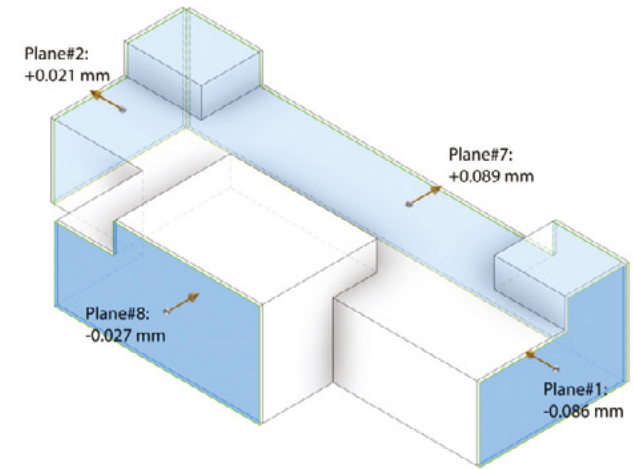


Abbildung 3: Vorgeschlagene Korrekturmassnahmen des MBD Correction Tools

EMV Power Line Kommunikation

Im Rahmen eines durch den Forschungsfonds Aargau unterstützten Innovationsprojektes arbeitet die FHNW zusammen mit der Firma plc-tec AG daran, einen Koppler für Power-Line Kommunikation zu entwickeln, welcher den strengsten EMV Normen der Avionik entspricht und damit die möglichen Einsatzbereiche dieser Technologie erweitert.

Pascal Schleuniger



Abbildung 1: Blick in ein PLC-Modem

Ausgangslage

Der Industriepartner in diesem Projekt, plc-tec AG, entwickelt und vertreibt eine eigene Transceiver-Technologie für die Datenübertragung über Stromnetze (Power Line Communication PLC), die für Anwendungen mit höchsten Anforderungen betreffend Zuverlässigkeit und Echtzeitfähigkeit z.B. in Flugzeugen, Zügen oder Smart Grids optimiert ist. Zu den Kunden zählen unter anderem global führende Flugzeugsystemlieferanten.

In Zusammenarbeit mit der FHNW soll die optimale Kopplung des PLC-Signals auf die Stromleitungen erforscht werden, um störungssichere, kompaktere und kostengünstigere Koppler unter anderem für den Eintritt der plc-tec in kostensensiblere Märkte wie z.B. Automotiv zu ermöglichen.

Funktionsweise Power-Line Kommunikation

Bei der Power-Line Kommunikation werden Daten in Modems in Pakete aufgeteilt, mit Prüfinformationen versehen und auf eine gewünschte Übertragungsfrequenz moduliert. Danach werden die Daten kapazitiv oder induktiv auf Stromnetze gekoppelt und übertragen. Power-Line Kommunikation wird oft genutzt, um Netzwerke in Häusern ohne Ethernet-Verkabelungen aufzubauen und sind demnach auf eine möglichst hohe Datenrate optimiert. Plc-tec AG hat sich darauf spezialisiert, Power-Line Kommunikation für Anwendungen mit hoher Zuverlässigkeit und Echtzeitanforderungen anzubieten.

Damit lassen sich viele Datenleitungen einsparen sowie Gewicht und Verkabelungen reduzieren, was besonders bei Flugzeugen und Zügen relevant ist. Abbildung 1 zeigt das

aktuelle PLC-Modem, bestehend aus Koppler und einer Datenverarbeitungseinheit.

Da die fehlerfreie Kommunikation zwischen den Modems in solchen Systemen gewährleistet sein muss, existieren Normenprüfungen, die je nach bestandenem Schärfegrad das erlaubte Einsatzgebiet vorgeben. Neben mechanischen Normenprüfungen müssen auch elektrische Anforderungen erfüllt und die EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) gewährleistet werden. Unter anderem soll die Kommunikation fehlerfrei funktionieren, wenn auf der Stromleitung starke, hochfrequente Ströme eingekoppelt werden. Dieser EMV Test wird als leitungsgebundene Immunitätsprüfung bezeichnet.

Automatisierter Testaufbau

In einem ersten Projektschritt wurde die leitungsgebundene Immunitätsprüfung normgerecht aufgebaut und automatisiert. Die Schwierigkeit besteht darin, dass über einen grossen Frequenzbereich von 0.5-50 MHz genau definierte Ströme in den Messaufbau gekoppelt werden müssen. Die Störungen werden per Funktionsgenerator erzeugt und verstärkt. Die Kopplung wird mittels einer induktiven Koppelzange realisiert. Die eingekoppelten Ströme werden mit einer schnellen und präzisen Strommesszange erfasst und über ein Oszilloskop ausgewertet. Ein zentraler Rechner liest die Daten des Oszilloskops aus und regelt die Störamplitude so, dass die von der Norm vorgegebenen Störströme erreicht werden. Gleichzeitig werden Datenpakete zwischen zwei Modems versendet und mögliche Übertragungsfehler erfasst. Mit diesem systematischen Test lassen sich nun kritische Betriebspunkte eruieren und im Simulationsmodell genauer untersuchen.

Modellbildung

Das aktuelle Kopplerdesign wurde systematisch auf dessen EMV Eigenschaften untersucht. Sämtliche verwendeten Bauteile wurden ausgemessen und die realen Eigenschaften in ein Simulationsmodell eingebettet. Mit diesem Modell wurden anschliessend die Impedanzen analysiert, welche für die Kopplung des Signals auf die Leitung relevant sind. In einem zweiten Schritt wurde der EMV Testsetup der Firma plc-tec AG ausgemessen und im Simulationsmodell nachgebildet und analysiert. Mit diesem Modell können nun sowohl EMV Messungen als auch komplette Verkabelungen von Kommunikationssystemen aufgebaut und systematisch simuliert werden.

Fazit und Ausblick

Mit dem automatisierten EMV Testaufbau für leitungsgebundene Immunitätsprüfung können kritische Betriebspunkte systematisch erfasst werden. Diese werden nun im Simulationsmodell genauer untersucht, um Verbesserungen im Kopplerdesign ausarbeiten zu können. Diese Änderungen können anschliessend mit dem Testaufbau validiert werden.

Neben der Verbesserung des aktuellen Kopplers-Designs sollen in den folgenden Arbeitspaketen neue Ansätze von Koppler Designs untersucht werden. Unter anderem wird der Einsatz neuer nanokristalliner Kerne für induktive Kopper geprüft.

Projektteam

Basil Ruch, wissenschaftlicher Mitarbeiter, basil.ruch@fhnw.ch
Prof. Dr. Pascal Schleuniger, Projektleiter, pascal.schleuniger@fhnw.ch

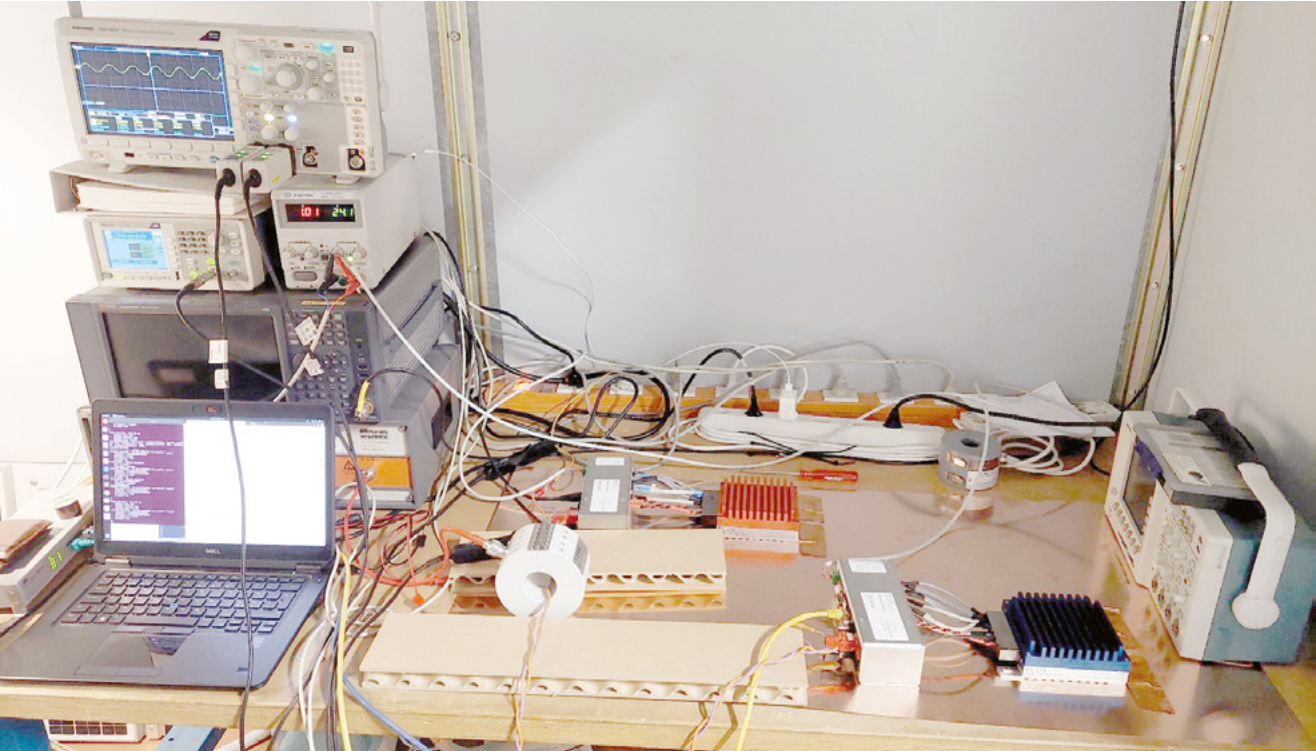


Abbildung 2: Automatisierter EMV Messplatz für leitungsgebundene Immunität.

Laser Interface für optische MEMS-Sensoren

Um erneuerbare Energien wie Windkraft effizienter zu nutzen, werden Windkraftanlagen in immer grösseren Dimensionen hergestellt. Da in Windturbinenblättern der Einsatz von Metallen aufgrund möglicher Blitzeinschläge ungeeignet ist, gibt es einen Bedarf an metallfreien, optischen Beschleunigungssensoren. Diese werden in die Rotorblätter eingearbeitet, um Eisschlag und Überbelastungen zu detektieren. Im Rahmen eines Studierendenprojektes hat die FHNW eine neuartige, echtzeitfähige Auswertelektronik für solche optische Sensoren entwickelt.

Raphael Roth



Abbildung 1: Möglicher Einsatzzweck der Sensoren und der Auswertelektronik. Durch einen Blitzeinschlag wurde die Eigenfrequenz des Rotorblatts verändert.

Ausgangslage

Der Industriepartner in diesem Projekt, ein dänisches Start-Up, hat einen metallfreien, optischen Beschleunigungssensor entwickelt. Der Sensor wird mit einem Laser über einen Lichtwellenleiter bestrahlt, wobei die Reflexion des Lichtstrahles im Sensor Aufschluss über die vorliegende Beschleunigung gibt. Diese Sensoren sollen primär in der Windkraft sowie in stark EMV-verschmutzten Umgebungen zum Einsatz kommen (Abbildung 1).

Diese Sensoren wurden bis anhin mit einem breitbandigen Laser bestrahlt und einem Spektrometer ausgewertet, was sehr aufwendig und teuer ist. Der neuartige Ansatz für die Auswertung besteht darin, einen schmalbandigen, einstellbaren Laser zu verwenden, damit repetitiv einen

Frequenzbereich abzufahren und die Reflexion vom Sensor auszuwerten. Dieser Ansatz verringert Bauteilkosten und Baugrösse, erfordert aber eine echtzeitfähige Elektronik mit hohen EMV Anforderungen, um den sensiblen Laser zu schützen.

Hardware

Für den Betrieb des schmalbandigen Lasers müssen verschiedene elektronische Teilsysteme entwickelt werden. Die Intensität des Lasers wird mit einer rauscharmen Konstantstromquelle gesteuert. Die Wellenlänge kann mithilfe eines Spannungssignals gesteuert werden. Das Signal liegt zwischen 0 V und 20 V. Dies wurde mithilfe eines DAC und eines Verstärkers erreicht. Der interne Aufbau des Lasers erfordert eine galvanische Trennung dieser Signalquellen



Abbildung 2: Entwickelte Auswertelektronik der FHNW.

vom restlichen System. Um eine konstante Wellenlänge des Lasers zu gewährleisten, muss die Temperatur konstant gehalten werden. Dies wird mit einem Temperaturcontroller für das im Laser integrierte Peltier-Element erreicht.

Die Reflexionen des Sensors werden mithilfe einer einfachen Photodiode im entsprechenden Lichtspektrum des Lasers ausgewertet. Das Signal wird danach verstärkt und mithilfe eines ADC eingelesen. Eine hohe zeitliche Auflösung wird durch eine hohe Repetitionsrate des gewünschten Wellenlängenbereiches des Lasers erreicht. Dies erfordert einen ADC mit hoher Samplefrequenz von 50MSPS. Die Daten werden über ein paralleles Interface direkt einem FPGA zur Verfügung gestellt, dadurch kann eine real-time Datenauswertung implementiert werden. Um die Laserdiode vor EMV Störungen zu schützen, wurde ein Metallgehäuse verwendet (Abbildung 2).

Auswertung

Da die Auswertung in real-time im FPGA erfolgen muss, wurde die ganze Auswertefirmware in VHDL geschrieben. Der Sensor reflektiert je nach Beschleunigung unterschiedliche Wellenlängen unterschiedlich stark zurück. Da dem FPGA durch die angelegte Spannung die aktuelle Wellenlänge des Lasers bekannt ist, kann die Beschleunigung errechnet werden. Dies wird nun durch ein serielles Interface einem Computer zur Verfügung gestellt und grafisch dargestellt.

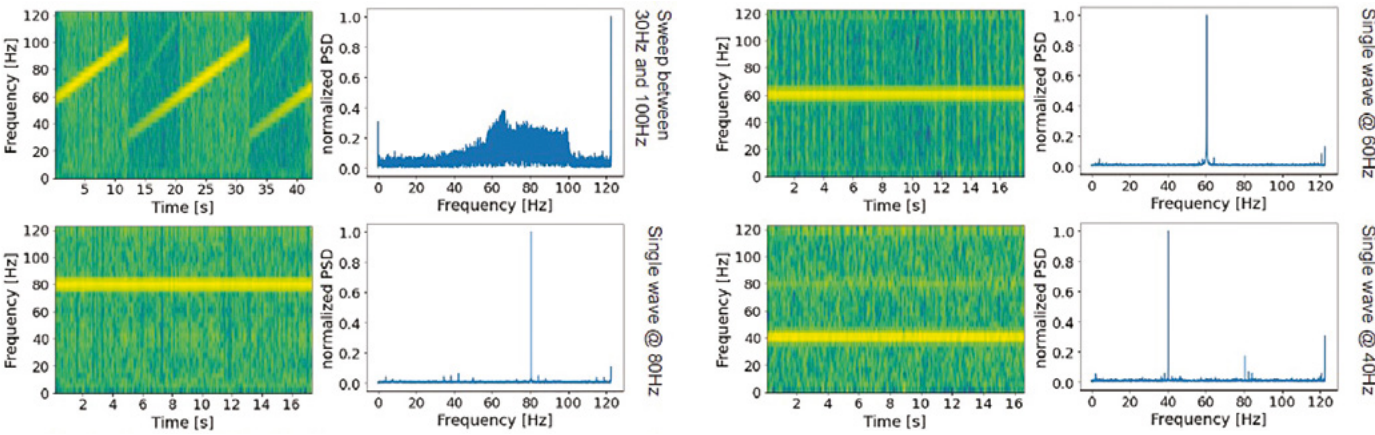


Abbildung 3: Angelegte Frequenzen werden mit dem System gemessen und mithilfe einer FFT ausgewertet. Linker Plot: Um einen zeitlichen Verlauf zu bekommen, werden nur 64 Samples des Datensets gleichzeitig ausgewertet. Die Farbe zeigt die Amplitude der jeweiligen FFT an. Rechter Plot: Eine FFT berechnet über das komplette Datenset von 4000 Samples.

Resultat

Ohne grösseren mechanischen Aufwand ist es unmöglich, über längere Zeit eine konstante Beschleunigung des Sensors zu erreichen. Um konstante Beschleunigungen trotzdem zu messen, wurde der Sensor um 180° gedreht. Durch die Erdbeschleunigung ergibt sich hierbei eine Beschleunigungsdifferenz von 2 g. Diese konnte in Tests mit einer relativen Genauigkeit von 10 % gemessen werden. Um das Szenario von Störfrequenzen auf dem Windturbinenblatt nachzustellen, wurde ein Sensor auf einen Lautsprecher montiert. Das System wurde mit unterschiedlichen Frequenzen angeregt. Die Auswertung (Abbildung 3) zeigt, dass Störfrequenzen präzise erkannt werden.

Fazit und Ausblick

Das entwickelte Funktionsmuster erlaubt es, mit ersten Feldversuchen zu starten. Sollte sich das System auch im Feldeinsatz bewähren, dann wurde hier eine innovative und kosteneffiziente Lösung erstellt, um metallfreie Beschleunigungssensoren auszuwerten und zu störungsfreiem Betrieb von Windkraftanlagen beizutragen.

Projektteam

Raphael Roth, BSc Elektro- und Informationstechnik, raphael.roth@fhnw.ch
Prof. Dr. Pascal Schleuniger, pascal.schleuniger@fhnw.ch

Modellbasierte prädiktive Vollklima-technologie

Im Rahmen dieses Projekts werden die wissenschaftlichen Grundlagen für einen modellbasierten, KI-gestützten Regler einer Vollklimaanlage entwickelt. Der Umsetzungspartner reduziert damit seine Engineering- und Inbetriebsetzungszeit und erweitert sein Angebot im Bereich Cloud-Services.

Albert Zihlmann



Abbildung 1: Symbolbild (Quelle: Roche)

Ausgangslage

Die möglichst optimale Regelung einer Klimatisierungslösung ist Voraussetzung zur Erfüllung einiger umwelttechnisch relevanter Aspekte. So schätzen es die Gebäudenutzer, wenn sich die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit möglichst stetig in einem Band der Behaglichkeit bewegen. Die Behaglichkeit wirkt sich direkt auf das Wohlbefinden, die Produktivität und die Gesundheit der Gebäudenutzer aus. Mit einer adaptiven, optimalen Regelungslösung können die Anforderungen an die Behaglichkeit mit möglichst geringem Energieeinsatz erreicht werden. Vor dem Hintergrund, dass der schweizerische Gebäudepark knapp 50% des Primärenergiebedarfs des Landes verbraucht, fallen energiesparende und damit CO2-Emissionen reduzierende Technologien besonders ins Gewicht.

Zielsetzung

Der Fokus im Rahmen dieses Projekts richtet sich auf folgende 3 Zielsetzungen:

1. Optimierung der Inbetriebnahme und damit eine zeitliche Entlastung der Inbetriebnahmetechniker, was direkt zu einem Wettbewerbsvorteil führt.
2. Verbesserung der Regelgüte im Rahmen des Behaglichkeitsfeldes und damit Schonung der beteiligten mechanischen Komponenten sowie Steigerung der Energieeffizienz. Nicht zuletzt ist die Einhaltung der Sollwerte für Temperatur und Feuchte und ein möglichst glatter Verlauf deren Werte von grosser Bedeutung.
3. Weitere automatische Regleroptimierung während des Betriebs durch eine vorausschauend modellbasierte und adaptive Reglertechnologie als "function as a service".

Modellbasierte Regelung

Im Zentrum dieses Innosuisseprojekts steht eine modellprädiktive Regelung (engl. Model Predictive Control, MPC) einer Vollklimaanlage. Diese ersetzt die klassische Regelung per PI- und PID-Regler.

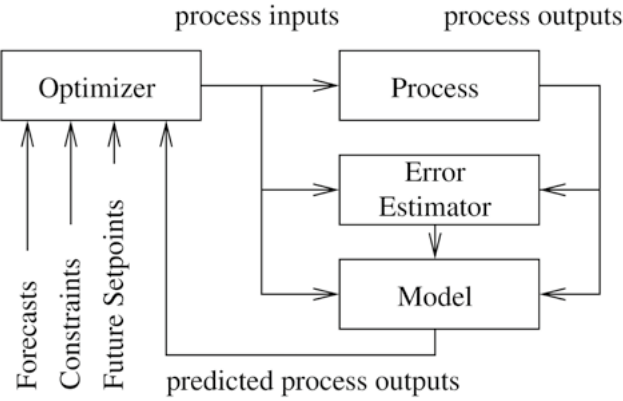


Abbildung 2: MPC

Beim MPC wird ein zeitdiskretes dynamisches Modell des Gebäudes verwendet, um das zukünftige Verhalten der Zielgrössen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) in Abhängigkeit der Eingangsgrössen (Wärmetauscher, Lufterhitzer, Luftkühler sowie Luftbefeuchter) zu berechnen. Die Prädiktion des Verhaltens wird in ein mathematisches Optimierungsproblem umgeformt und gelöst. Dies ermöglicht die Berechnung der - im Sinne einer Gütefunktion - optimalen Eingangssignale, die zu optimalen Ausgangssignalen führen. Durch die Wiederholung der Optimierung in jedem Abtastschritt (unter Berücksichtigung der aktualisierten Messwerte) ist es möglich, auf Störungen zu reagieren und Prädiktionsfehler auszugleichen. Somit können auch Prognosedaten des Wetters oder der Belegung in die Regelung miteinbezogen werden.

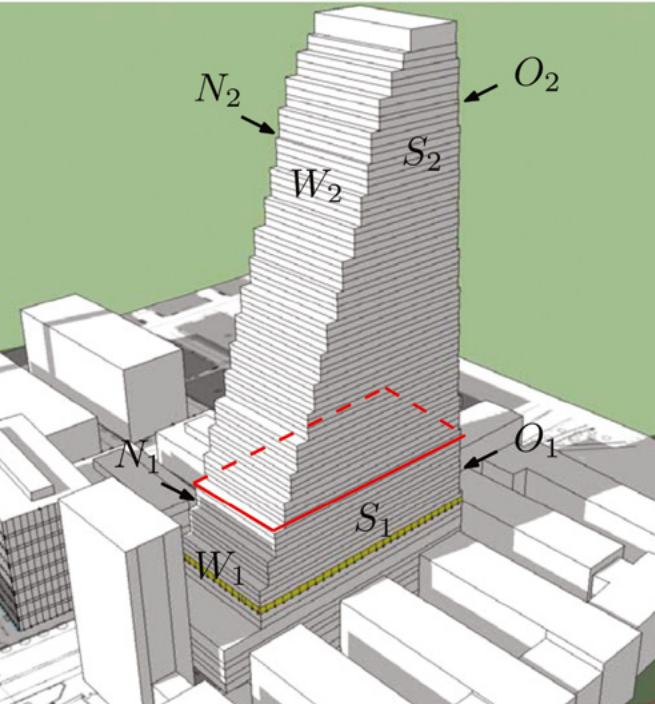


Abbildung 4: Zoneneinteilung

Anlagenmodell

Das Modell des zu regelnden Gebäudes wird dabei als klassisches Zustandsraummodell realisiert, das in Zonen organisiert ist. Die Identifikation der Parameter erfolgt mithilfe eines eigenen Softwaretools, das die physikalischen Gebäudeparameter jeder Zone, wie z.B. Betonmasse, Raumkubatur, Dämmwerte der Fenster etc. entsprechend verarbeitet und auch die Koppelfaktoren zwischen den Zonen festlegt.

So werden diejenigen Teile des Gebäudes jeweils in eine Zone zusammengefasst, welche ähnliche strukturelle Eigenschaften und ähnliche Umwelteinflüsse bezüglich Besonnung und Fremdbeschattung durch Nachbargebäude aufweisen (Abbildung 4). Bereits mit einer groben Parameterabschätzung anhand der Gebäudestrukturdaten können relativ gute Simulationsergebnisse erzeugt werden (Abbildung 3). Für die Validierung der Modelle stehen historische Messdaten über 4 Jahre zur Verfügung. Die Aggregate der Klimaanlage hingegen können nicht durch ein reines Zustandsraummodell erfasst werden. Die vorherrschenden physikalischen Vorgänge bei der Be- und Entfeuchtung der Luft, aber auch die Strömungswiderstände von Klappen und Ventilen, verhalten sich nichtlinear.

Die im Anlagenmodell vorhandenen Nichtlinearitäten resultieren in einem nichtlinearen Optimierungsproblem, welches ungleich schwieriger zu lösen ist als die quadratischen Optimierungsprobleme, die sich bei linearen Prädiktionsmodellen ergeben. Deshalb verfolgen wir einen sequential quadratic programming (SQP) Ansatz, in dem das nichtlineare Optimierungsproblem durch eine Reihe von quadratischen Optimierungsproblemen abgeschätzt wird. Dieser Ansatz erlaubt es, die Rechenzeit zur Lösung des Optimierungsproblems in einem überschaubaren Rahmen zu halten.

Automatische Regleroptimierung

In der Regel wird eine Anlage, wenn sie einmal konfiguriert und in Betrieb genommen wurde, nach Möglichkeit nicht mehr angerührt. Die Regelung ist somit nicht unbedingt optimal. Deshalb wird im Rahmen dieses Projekts

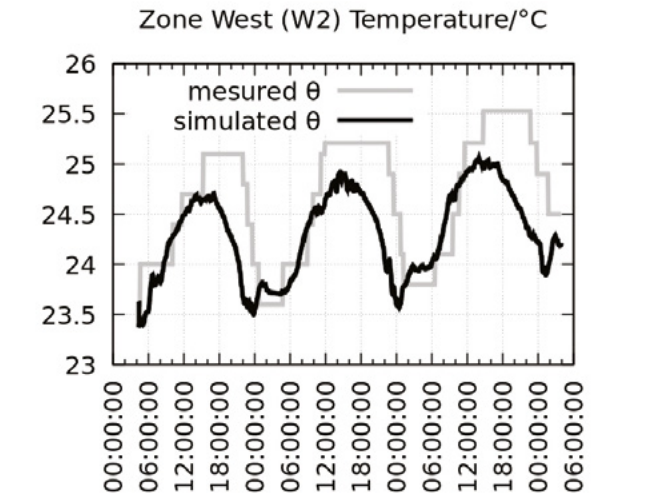


Abbildung 3: Simulation Raumtemperatur West

eine automatische und kontinuierliche Anpassung des Regelprozesses umgesetzt, so dass Ungenauigkeiten des Modells aber auch Änderungen von betrieblichen oder klimatischen Rahmenbedingungen über die Zeit kompensiert werden.

Dies geschieht mittels eines Störgrössenschätzers. Anstatt die Parameter des Modells über die Zeit anzupassen, werden die Abweichungen der Modellausgänge zur Realität als Störgrössen über den Störgrössenschätzer an den Regler übergeben. Somit können diese Abweichungen wiederum in das Optimierungsproblem des MPC einfließen, womit sich dieser adaptiv an die wechselnden Bedingungen anpasst.

Implementierung auf SPS-Ebene

Die Anforderungen des Kunden verlangen eine Implementierung des prädiktiven Reglers als Funktionsblock auf deren SPS. Die Modelle und alle Parameter zur Konfiguration müssen deshalb zur Laufzeit geladen werden können. Die gängigen MPC Toolboxen bieten diese Möglichkeit nicht an und werden deshalb entsprechend von uns erweitert. Dazu gehört auch eine BACnet-Schnittstelle für den Zugriff auf die entsprechenden Ein- und Ausgabedatenpunkte der Anlage.

Ausblick

Nach Abschluss der Modellvalidierungen werden zunächst Simulationen mit einem ersten Prototyp durchgeführt. Schliesslich folgt ein testweiser Einbau in eine Pilotanlage, worin die entsprechenden Quell- und Zieldatenpunkte über das BACnet-Protokoll zugreifbar sind. Da bereits historische Daten dieser Anlage vorliegen, sind wir in der Lage, ggf. Verbesserungen im Betriebs- und Verbrauchsverhalten aufzuzeigen und damit den Erfolg unseres Projekts zu quantifizieren.

Industriepartner

Felix Gassmann, CTO Fr. Sauter AG

Projektteam

Albert Zihlmann, Dozent, Projektleiter und Betreuer, albert.zihlmann@fhnw.ch

Thomas Besselmann, Dozent Regelungstechnik, thomas.besselmann@fhnw.ch

Patrick Read, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, patrick.read@fhnw.ch

Steffen Thierer, Wissenschaftlicher Assistent & Masterstudent MSE, steffen.thierer@fhnw.ch

Andrej Sonderegger, Wissenschaftlicher Assistent/ Masterstudent MSE, andrej.sonderegger@fhnw.ch

Studierendenprojekte – Ihre Aufgabenstellung wird durch unsere Studierenden gelöst

Für Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft bieten Studierendenprojekte eine Chance, komplexe Problemstellungen ohne grösseren finanziellen Aufwand bearbeiten zu lassen. Die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure lösen die Aufgaben fachkundig, kreativ und zuverlässig. Sie werden dabei durch unsere Dozierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitenden betreut.



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

Regelungstechnik für Wärmepumpen im Areal

In dem vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Projekt «Innovative Eigenverbrauchsoptimierung für Mehrfamilien-Arealüberbauung mit lokaler Strombörse in Möriken-Wildegg» wurde eine Messuntersuchung durchgeführt, um die Wirkung verschiedener Regelalgorithmen zur Optimierung des Eigenverbrauchs an vergleichbaren Gebäuden zu untersuchen. Erste Resultate zeigen, dass der solare Deckungsgrad der Wärmepumpen durch die gezielte Speicherung von Energie in der Gebäudemasse und intelligenter Regelungstechnik verdoppelt werden kann.

David Zogg



Abbildung 1: Areal-Überbauung in Möriken-Wildegg AG mit 4 Mehrfamilienhäusern (Quelle: Setz Architektur AG)

Ausgangslage

Das Areal in Möriken-Wildegg dient zur Untersuchung neuartiger Regelmethode zur Optimierung des Eigenverbrauchs über die gezielte Steuerung von Wärmepumpen, Haushaltgeräten und Elektromobil-Ladestationen mit finanziellem Anreiz über eine Strombörse im Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV). In der ersten Messperiode 2020 wurde das Areal bereits bezüglich ökonomischen und ökologischen Aspekten als Ganzes ausgewertet und im BFE-Schlussbericht [2] dokumentiert. In der laufenden zweiten Messperiode 2021 wird nun die Steigerung des solaren Deckungsgrades durch verschiedene Regelmethode gezielt untersucht. Dabei wird die ideale Ausgangslage genutzt, dass die Gebäude praktisch baugleich sind und deshalb unter realen Bedingungen miteinander verglichen werden können. In den Gebäuden wurden verschiedene Algorithmen zur Steigerung des Ei-

genverbrauchs implementiert, mit dem Fokus auf die Einbindung der Wärmepumpen und Speicher. Ein Gebäude wird ohne Optimierung betrieben, ein weiteres Gebäude mit einer Standard-Regelung über Speichermanagement (Puffer und Brauchwarmwasser), und ein drittes Gebäude mit einer intelligenten Regelung, welche das gesamte Gebäudes als thermischen Speicher nutzt (sogenanntes Thermomanagement). Dabei soll untersucht werden, ob das bereits in den früheren Simulationen [1] vorausgesagte Potential einer Verdoppelung des solaren Deckungsgrades in die Realität umgesetzt werden kann.

Gebäude und Installationen vor Ort

Die Minergie-P-Eco-Überbauung in Möriken-Wildegg AG ist in Abbildung 1 zu sehen. Es wurden 4 Gebäude mit insgesamt 35 Wohnungen realisiert. Die Gebäude wurden in Holz-/Mischbauweise realisiert und auf den Dächern



Abbildung 2: Ausrüstung der Wohnungen mit KNX-Raumbediengeräten

sowie Fassaden wurden PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 160 kWp installiert. Die Wohnungen wurden mit KNX-Raumbendienstationen ausgerüstet (Abbildung 2), welche mit dem zentralen Eigenverbrauchsmanager verbunden sind. Der Sollwert der Raumtemperatur wird vom Eigenverbrauchsmanager gezielt beeinflusst, um mehr thermische Energie im Gebäude speichern zu können. Zudem zeigt ein grünes LED an, wenn 100% Solarstrom zur Verfügung steht (ökologisches Anreiz-System). Als zusätzliche Innovationen wurde eine Solarsteckdose installiert, welche nur bei solarem Überschuss Strom liefert und der Geschirrspüler sowie die Waschmaschine können automatisch über Solarstrom betrieben werden.

Regelungstechnik

Die Wärmepumpen von Stiebel-Eltron wurden über das MODBUS®-Protokoll intelligent eingebunden (Abbildung 3). Der Eigenverbrauchsmanager beeinflusst die Sollwerte des Brauchwarmwasserspeichers (BWW), des Pufferspeichers (SP) sowie des Gebäudes variabel. Zudem liest der Eigenverbrauchsmanager sämtliche Zustände und Temperaturwerte aus der Wärmepumpe aus und nutzt diese zur Optimierung. Durch einen Fernzugriff kann das System einfach eingestellt und gewartet werden.

Die Optimierung erfolgt nach dem in [1] vorgestellten Preisregler. Dieser basiert auf zwei Preiskurven, welche in Echtzeit aus den Daten berechnet werden (Abbildung 4). Grün ist der Nachfragepreis, abhängig von der mittleren Raumtemperatur im Gebäude. Blau ist der Angebotspreis in Abhängigkeit des Tarifs und des solaren Deckungsgrades. Aus der Differenz zwischen grüner und blauer Kurve wird eine Stellgrösse berechnet, welche proportional auf die Solltemperaturen der Wärmepumpe wirkt. Bei positiver Differenz (grün > blau) werden die Solltemperaturen angehoben, bei negativer Differenz (grün < blau) abgesenkt. Der Vorteil dieses Regelkriteriums liegt darin, dass gleichzeitig die lokale Produktion, der Bedarf des Gebäudes und die tarifliche Situation in der Optimierung berücksichtigt wird. Auch die Wetterprognose kann im Nachfragepreis berücksichtigt werden, was bei einem trägen Gebäude von Vorteil ist.

Messungen und Auswertungen

Abbildung 5 zeigt die Steigerungsfaktoren des solaren Deckungsgrades über das ganze Jahr für das Heizen über die Wärmepumpe [3]. Es wird sofort ersichtlich, dass die intelligente Regelung mit Gebäude als Speicher (grün) wesentlich höhere Werte liefert als die Standard-Regelung mit einfachem Speichermanagement (ocker). Zur Zeit der Be-

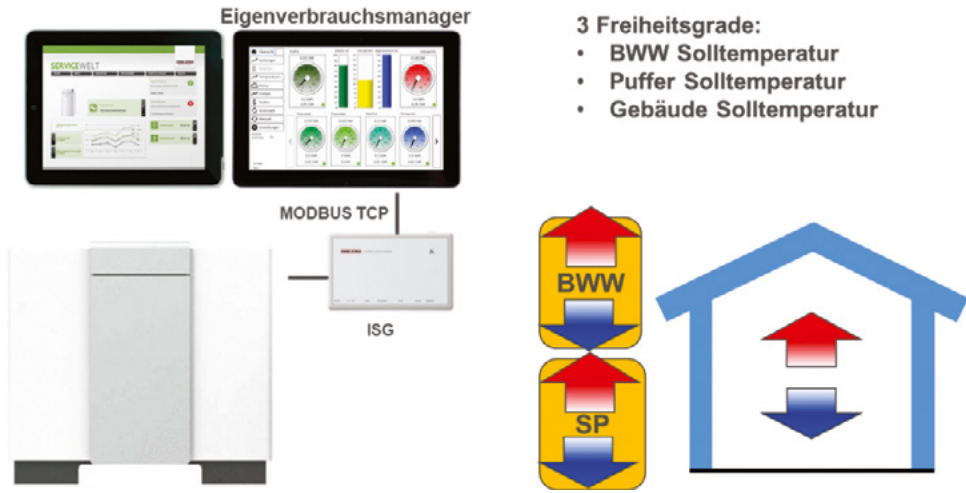


Abbildung 3: Einbindung der Wärmepumpen über MODBUS®

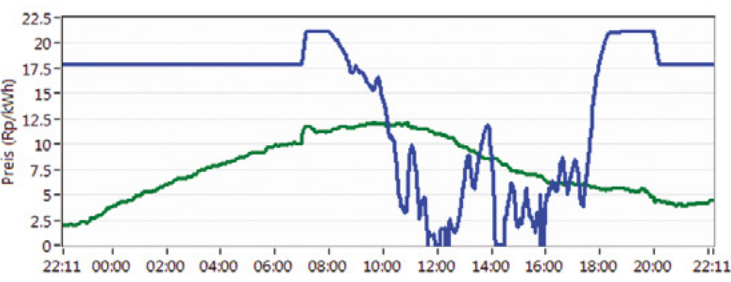


Abbildung 4: Variable Preiskurven an einem Beispiel-Tag. Blau = Angebotspreis, grün = Nachfragepreis

richterstellung wurden die Monate Januar bis Mai bereits messtechnisch ausgewertet, die Monate Oktober bis Dezember sind noch Prognosewerte (die definitiven Resultate werden im BFE-Schlussbericht im Q1/2022 publiziert). Über das ganze Jahr gesehen wird eine Steigerung des solaren Deckungsgrades um den Faktor 1.8 erwartet mit dem Gebäude als Speicher. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe wird dabei in keinem Monat reduziert (grün). Im Gegensatz zur Standard-Regelung (ocker) wird hier keine einseitige Temperaturerhöhung in den Speichern gefahren und der Temperaturhub ist dank der grossen Wärmekapazität des Gebäudes wesentlich kleiner. Insgesamt kann damit um den Faktor 1.8 mehr Solarstrom verwendet werden bei gleichbleibender Effizienz des Systems.

Schlussfolgerungen

Dank intelligenter Regelungstechnik mit aktivem Thermomanagement des Gebäudes kann die thermische Speicher-

masse des Gebäudes optimal genutzt werden. Durch gezieltes, leichtes Anheben und Absenken der Temperaturen kann über das ganze Jahr gesehen etwa doppelt so viel Solarstrom in der Wärmepumpe verwendet werden wie beim Fall ohne Optimierung. Damit können Energiekosten eingespart werden und der Strombezug aus dem Netz sinkt. Die Gebäude können in Zukunft auch als thermische Speicher genutzt werden, um das Stromnetz zu stabilisieren bzw. Lasten auszugleichen. Dies ist eine interessante Alternative zu den (teuren) Batteriesystemen.

Referenzen

- [1] D. Zogg et. al: OPTEG - Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Bundesamt für Energie, Schlussbericht Februar 2016.
- [2] D. Zogg et. al: Innovative Eigenverbrauchsoptimierung für Mehrfamilien-Arealüberbauung mit lokaler Strombörse in Möriken-Wildegg, Bundesamt für Energie, Schlussbericht November 2020.
- [3] D. Zogg: Eigenverbrauchsoptimierung von Wärmepumpen im Areal über moderne Schnittstellen, Wärmepumpen-Tagung, Burgdorf, 2021

Projektteam

Prof. Dr. David Zogg, Regelungstechnik, david.zogg@fhnw.ch

Auftraggeber

Bundesamt für Energie (BFE), Pilot- und Demonstrationsprojekt

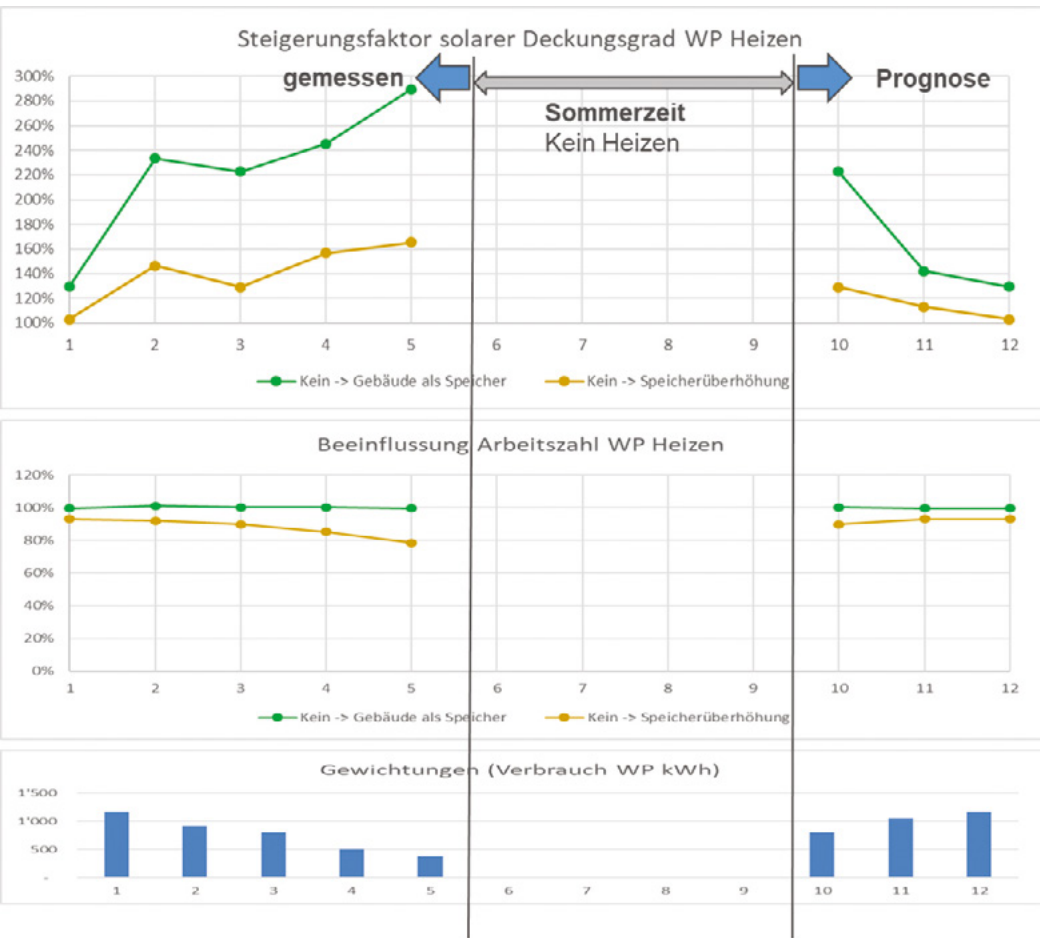


Abbildung 5: Steigerungsfaktoren des solaren Deckungsgrades über das gesamte Jahr 2021 durch einfache Regelung (ocker) und intelligente Regelung (grün)

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

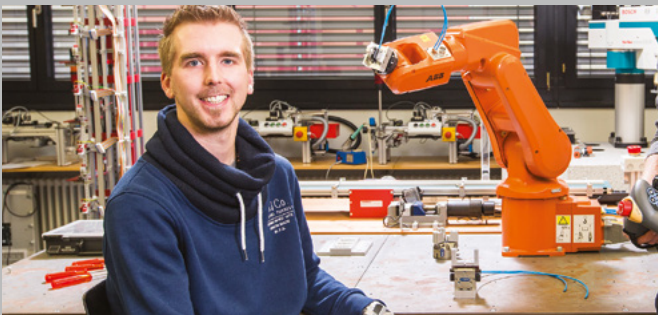
Nebst dem klassischen Vollzeitstudium entscheidet sich eine zunehmende Zahl von jungen Frauen und Männern für die berufsbegleitende Ausbildung.

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.

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

Herstellung von hochpräzisen "Elektroblechen" mit den Methoden eines serientauglichen 3D-Druckverfahrens

Die Exentis Group AG in Stetten ist ein weltweit führender Hersteller von wirtschaftlichen 3D-Drucken für grosse Stückzahlen. Mit ihrem selbst entwickelten Druckverfahren werden, bedingt durch das abschliessende Sinterverfahren, hauptsächlich metallische und keramische Werkstoffe verwendet. Damit liegt der Gedanke nahe, das Verfahren für die Herstellung von Stator- und Rotorblechen zu nutzen. Ein Förderprojekt des Aargauer Forschungsfonds soll in Zusammenarbeit mit dem Institut für Automation FHNW die Machbarkeit aufzeigen.

Hans Gysin



Abbildung 1: Beispiele für Produkte, die von Exentis mit ihrem 3D-Druckverfahren hergestellt werden.
Elektrobleche für Rotoren und Statoren moderner, kleiner Permanentmagnetmotoren haben nicht diese Vielfalt an Strukturen, sind aber dünn und verlangen eine hohe Präzision. Sie sind also geeignet für dieses Druckverfahren.

A copper sample part (left), a metallic forcep for medical applications (centre) and a casting filter for low-pressure casting of aluminium rims (right) (Courtesy Exentis Group AG)

Problematisierung

Beim Exentis-Druckverfahren werden Pulver der gewünschten Materialien, vermischt mit Druckpasten, die das Kern- "know how" des Prozesses darstellen, verarbeitet. Durch das abschliessende Sintern erhalten die Drucke praktisch wieder die Eigenschaften der in Pulverform verarbeiteten Materialien. Neben keramischen Materialien sind vor allem auch Metalle mit diesem Druckverfahren gut zu verarbeiten. Es können somit Pulver verschiedener weichmagnetischer Stoffe gemischt und zu Elektroblechen mit den gewünschten magnetischen Eigenschaften kombiniert werden.

Neben den Vorteilen einer praktisch 100%igen Materialausnutzung und dem Wegfall der Stanzwerkzeuge, gibt es

auch Herausforderungen und Unsicherheiten, die entsprechende Forschungen und Untersuchungen erfordern. So war z.B. nicht klar, wie die Materialdichte der erzeugten Elektrobleche und die magnetischen Eigenschaften durch den Sinterprozess beeinflusst werden. Ebenso haben Schrumpfungen beim Sintern einen grossen Einfluss auf die Präzision der Drucke.

Vorgehen / Umsetzung

Durch das Institut für Automation FHNW wurden die Geometrien und Mengen der Prüflinge definiert, um aussagekräftige Messergebnisse zu erhalten. Exentis entwickelte erste Druckpasten, um die vorgegebenen Materialmischungen als Prüflinge zu drucken und zu sintern. Die anschliessenden elektrischen und magnetischen Messun-

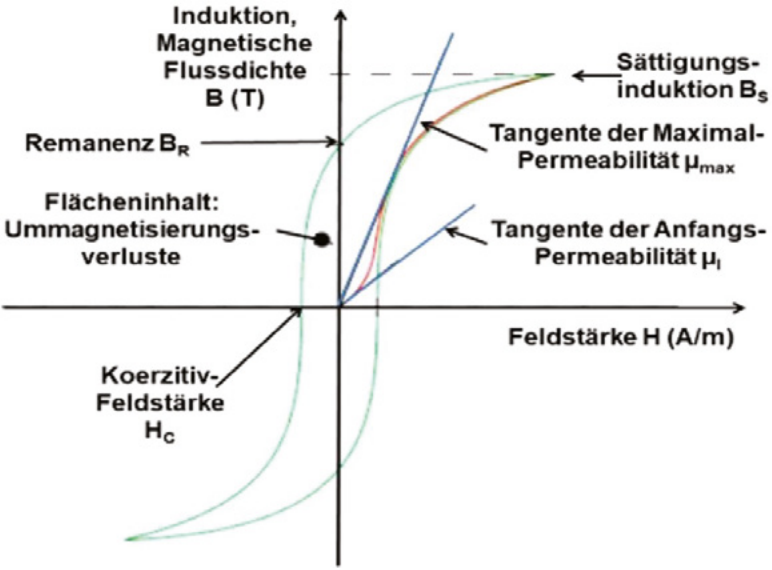


Abbildung 2: Die «altbekannte» Hysteresekurve zeigt die magnetische Flussdichte als Funktion der Feldstärke. Sie charakterisiert ein magnetisches Material praktisch vollständig und war die Grundlage für alle Messungen bei den gedruckten Elektroblechen. Die magnetischen Eigenschaften der verwendeten Materialien, die Mischung der Materialien, sowie deren Dichte und nicht zuletzt die Geometrie der Prüflinge mit dem Auftreten von Verlusten (Wirbelströmen usw.) werden in dieser Messkurve sichtbar.

gen beim Institut für Automation FHNW erlaubten erste Aussagen zur Qualität der Prüflinge und zeigten Schwachstellen und Stärken der gedruckten Elektrobleche. Nach einigen Optimierungen konnten dann Aussagen zu den Einflüssen von Materialmischungen, Druckpaste, Druckvorgang und Sintern auf die magnetischen Eigenschaften der gedruckten Elektrobleche (Prüflinge) gemacht werden. Über die erreichte Qualität der Elektrobleche konnte das jeweilige Einsatzgebiet definiert und die Wirtschaftlichkeit für einen Einsatz abgeschätzt werden.

Das Projekt wird im Jahr 2022 weitergeführt und dabei werden wirtschaftlich sinnvolle Einsatzgebiete für gedruckte Elektrobleche genauer definiert, sowie Muster hergestellt und ausgemessen. Ein mehrmaliges Optimieren der Materialien und Verfahren wird den entsprechenden technischen und wirtschaftlichen Erfolg bringen. Tendenziell kann davon ausgegangen werden, dass diese gedruckten Bleche als Nischenprodukt eingesetzt werden. Überall dort, wo bestimmte Materialzusammensetzung und spezielle magnetische Eigenschaften gefordert sind, die von den heute verfügbaren Elektroblechen nicht abgedeckt werden können, macht es Sinn, einen entsprechenden Druck einzusetzen. Dabei können auch Materialmischungen eingesetzt werden, die mit den konventionellen Blechwalzverfahren gar nicht hergestellt werden können.

Ausblick

Die Tatsache, dass mit diesem 3D-Druckverfahren nicht nur Elektroblech, sondern auch Keramik (Isolation), Kupfer, Permanentmagnetmaterial und Stahl gedruckt werden

kann, lässt vermuten, dass in naher Zukunft ganze Elektromotoren gedruckt werden können. Die unterschiedlichen Anforderungen an das Sintern und das unterschiedliche Schrumpverhalten beim Sintern deuten aber auf einen längeren Entwicklungsweg bis zum technisch wirtschaftlich erfolgreichen, gedruckten Elektromotor.

Die greifbare Zukunft zeigt aber auf, dass verschiedenste Materialkombinationen die unterschiedlichsten magnetischen Eigenschaften erfüllen werden und für kleinere und mittlere Serien wirtschaftlich zur Verfügung stehen. Es wird nach Abschluss dieses Projektes also möglich sein, dass die Exentis-Kunden Stator- und Rotorbleche mit individueller Geometrie und gleichzeitig mit individuellen magnetischen Eigenschaften für ihre kleineren und mittleren Motoren-Serien bestellen können. Konventionelle Elektromotoren mit Standardblechen in grossen Serien werden von dieser Innovation vorläufig nicht tangiert.

Projektteam

FHNW / Institut für Automation:
Kilian Pedolin, Masterstudent und Wissenschaftlicher Assistent
Prof. Hans Gysin, Dozent, hans.gysin@fhnw.ch

In Zusammenarbeit mit:
Exentis Group AG, CH-5608 Stetten AG
Dr. Srđan Vasić, CSO - Chief Sales Officer

Energieeffiziente Grossbildschirme

Mittels Machine-Learning-Methoden (ML) soll der Energieverbrauch von Grossbildschirmen reduziert sowie deren Innenraumtemperatursituation verbessert werden. Zur Generierung von Verbrauchsdaten wird ein digitales Modell erstellt. Die Validierung erfolgt mittels Testbildschirm an der FHNW.

Nils Strassmann



Abbildung 1: Outdoor Grossbildschirm

Umsetzungspartner

Die Schaltag AG stellt Outdoor-Grossbildschirme her, welche sich heute an belebten Orten des öffentlichen Verkehrs, in Innenstädten oder in Touristenorten befinden. Die Schaltag AG will zusammen mit dem Institut für Automation der FHNW das heutige Produkt zu einem intelligenten Outdoor-Grossbildschirm weiterentwickeln. Das erste Ziel ist die Optimierung des Energieverbrauchs und damit die Reduktion von Leistungsaufnahme und Verlustleistung im Outdoor-Grossbildschirm.

Optimierung der Lüftung

Die Effizienz der Lüftung hat einen grossen Einfluss auf die Gesamteffizienz des Systems sowie auf die Lebensdauer der elektronischen Komponenten. Deshalb wurde diese zu Beginn des Projektes genauer untersucht, um mögliche Anpassungen an den zukünftigen Modellen vorzunehmen. Die Luftströmung wurde mittels Strömungssensor (Hitzdrahtanemometer) und Drucksensor quantitativ erfasst und mittels Dampfgerät (Vaporizer) visualisiert.

Die Druckmessungen ergaben kaum messbare Druckdifferenzen innerhalb des Strömungskanal. Daher kann auf eine konstruktiv sinnvolle Strömungsführung geschlossen werden. Mit dem Hitzdrahtanemometer konnten die Strömungsgeschwindigkeiten abhängig von der Lüfterdrehzahl erfasst werden. Diese Daten sind wichtig für das Erstellen des digitalen Modells. Mit dem Dampfgerät wurde der Luftstrom an der Vorderseite des Bildschirms visualisiert. Dies machte die flächendeckende Durchströmung des gesamten Bildschirms sichtbar, was auf einen homogenen Wärmetransport an der Bildschirmoberfläche schliessen lässt.

Messungen am realen Modell

Als nächster Schritt wird das Bildschirmmodell mit Sensoren zur Zustandsüberwachung ausgestattet. Das Bildschirmmodell wird rund um die Uhr betrieben und die Innentemperatur und der Energieverbrauch werden mittels Temperatursensoren und Strommessung überwacht. Dadurch lassen sich mögliche Temperaturhotspots zu gewissen Betriebszuständen ermitteln. Anhand dieser Daten kann zu einem späteren Zeitpunkt das digitale Modell verifiziert werden.

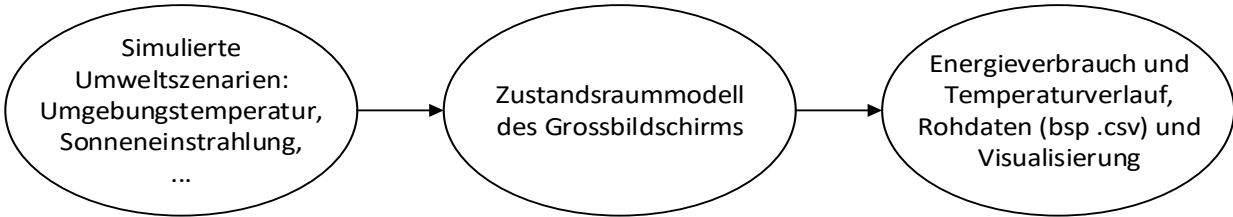


Abbildung 2: Konzept für das digitale Modell des Grossbildschirms

Digitales Modell

Der Grossbildschirm wird als dynamisches, digitales Modell abgebildet. Anhand des digitalen Modells sind Betriebsdaten von verschiedenen Umweltszenarien (Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung, etc.) zu erzeugen. Diese Daten dienen als Grundlage zum Trainieren eines ML-Algorithmus, welcher einen energieeffizienteren Betrieb des Grossbildschirms ermöglichen soll. Für die physikalischen Vorgänge wie Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung wird ein Zustandsraummodell erstellt. Damit lassen sich diverse Zustände (Temperaturen) zu verschiedenen Zeitpunkten berechnen. Für den Energieverbrauch werden zunächst Angaben aus den Datenblättern der jeweiligen Komponenten, wie Netzteil, Lüfter, Bildschirmbeleuchtung, etc. verwendet. Später werden diese Angaben anhand der Messwerte am realen Bildschirm verglichen und das Modell somit verifiziert.

Ausblick

Anhand der aus dem digitalen Modell gewonnenen Daten soll die Bildschirmregelung effizienter werden. Weiteres Potential zur Energieeinsparung bietet die Erkennung von Personenszenarien in der Umgebung des Grossbildschirms. Die Anzeige und Helligkeitsregelung können so situationsgerecht angepasst werden und der Bildschirm kann in den Ruhemodus versetzt werden, wenn ein zu geringes oder kein Personenaufkommen vorhanden ist. Dies sind weitere Möglichkeiten zum effizienten und zielgerichteten Betrieb des Grossbildschirms. Für die Erkennung der Personenszenarien ist der Bildschirm mit entsprechender Sensorik wie Kamerasystemen oder Näherungssensoren zu ergänzen.

Projektteam

Nils Strassmann, Wissenschaftlicher Assistent/Student MSE, nils.strassmann@fhnw.ch
Prof. Hans Gysin, Betreuer/Projektleiter, hans.gysin@fhnw.ch
Jan Gebhardt, Projektleiter, jan.gebhardt@fhnw.ch

Bachelor-Thesen

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

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber/Partner	Advisor	Studierende
IoT Cocktail-Maschine	Vorschlag Studierende	Schleuniger Pascal	Aebi Robin Schenk Kim
OpenSource Alternativen zu industriellen Leitsystemen	Deleproject AG	Schleuniger Pascal	Blum Tobias
Entwickeln einer Planungs- und Steuerungssoftware für einen «Binder-Jetting» 3D Drucker für die Herstellung von Knochenersatz	FHNW/HLS/Institut für Medizintechnik und Medizininformatik	Mastellone Silvia Seiler Daniel	Tritz Marvin
Konzept einer Netzwerklösung für die Agrarindustrie	Invaio Sciences Inc.	Anderegg Roland	Lerf Marius
Ausbau der eAccess Test Umgebung	Glutz AG	Binggeli Daniel	Streit Patrick
Entwicklung einer modernen Steuerung im Bereich Low-Cost/Mid-Range	Sotax AG	Anderegg Roland	Benz Fabian
Automation der Schleifbearbeitung im Maschinen- und Anlagenbau	Gericke AG	Anderegg Roland Edelmann Max	Blaser Nyfeler Lukas
Entwicklung eines kraftbasierten Steuerungsablaufs für einen Ultraschallschweissprozess mit Industrierobotern	FHNW/IA	Edelmann Max Fischer Wolfgang	Wenger Claude
Prototype Smoke Detector including Thread Router functionality	Siemens Schweiz AG	Zihlmann Albert Loepfe Markus	Nietlispach Dario
IoT Lubricant Dispenser	Simatec AG	Zihlmann Albert	Scherer Sandro Etterli Pascal
Laser Interface für optische Beschleunigungssensoren	CEKO Sensors ApS	Schleuniger Pascal	Roth Raphael
Automatischer EMV Prüfplatz «Leitungsgebundene Immunität»	Siemens	Schleuniger Pascal	Burkard Silvan
Impedanzverläufe realer Bauteile und PCB-Layouts	FHNW/EIT	Wicki Stefan Rotzler Elias Lukas	Teklemariam Tesfu
'dojo', ein neuartiges Handgerät im Bereich der Audio-Personenführung	dojo tech AG	Gysin Hans Schleuniger Pascal	KellerThomas Beck Jan-Timon
Studie zu Abfüllung über IOLink	Endress + Hauser Flowtec	Zihlmann Albert	Puschmann Pascal
Verpackungsanlage Scheitholz	Jenni Holz AG	Gysin Hans	Tanner Patrik
Digitaler Bierdeckel zur Kommunikation Gast-Bar, Gast-Gast	netz work.ing GmbH	Gysin Hans	Suter Denis
Autonomer, vernetzter Windwächter	Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen (PS)	Eichin Heinz	Röthlisberger Marc
Entwicklung einer neuen Wägetechnik im Schüttgutbereich	Three-Tec GmbH	Gebhardt Jan Anderegg Roland	Kieser Benjamin
Mess- und Ausrichtungsinallation von Paddeln einer Industriemischwelle	Gericke AG	Gebhardt Jan Anderegg Roland	Seiler Noah
IoT Lubricant Dispenser, Cloudanbindung über Bluetooth	FHNW/IA	Zihlmann Albert Kaufmann Silvio	Gilgien Pascal
Home Energy Management System - Integration, Simulation und Messung	FHNW/Institut Energie am Bau	Eichin Heinz Messmer Christoph	Ziegler Philipp
Energy Research Lab / Regleroptimierung Emulatoren mit Simulation und Messung	FHNW/Institut Energie am Bau	Eichin Heinz Messmer Christoph	Antico Rico
Automatisierte PCB Montage für Batterie-Module in Traktionsanwendungen	ABB Schweiz AG	Schleuniger Pascal Fischer Wolfgang	Flucher Gianin
Prüfstand für E-Bikes	Coop Service, Nationale Logistik	Eichin Heinz Begert Daniel	Mukkattu Belmin
Vorhersage Ladung einer Batterie mit Strom aus Klärgas und PV	Hunziker Betatech AG	Zogg David	Wellink Yannick
Eigenverbrauchsoptimierung mit «Revolution Pi»	Smart Energy Engineering GmbH	Zogg David Märki Vincent	Duttwiler Marc
Optimierung Bewässerungs-Toolkit für Spezialkulturen	Ebenrain-Zentrum	Simons Gerd Begert Daniel	HövelThomas

Kooperation Mensch/Maschine: Isolationsprozess Spannungswandler	Pfiffner Messwandler AG	Anderegg Roland	Müller Josia
Entwicklung der automatischen Abstützungen für Vierwalzenbiegemaschinen	Haeusler AG	Sonderegger Andrej Anderegg Roland	Marti Philipp
Systemidentifikation und Regelung zweier hydraulisch gekoppelter Aktoren für Blechbiegemaschinen	Haeusler AG	Sonderegger Andrej Anderegg Roland	KellerTheo
Entwicklung der Handhabung einer Laserschneideanlage für Zahnschienen	Nivellmedical AG	Besselmann Thomas Märki Vincent	Röthlisberger Oliver
Substitution von Lichtschranken durch Kamera mit Bildverarbeitung	Bürge-Fischer AG	Keller Jürg	Sax Jonas
Realisierung einer intelligenten Positionsbestimmung und Regelung eines Agro-Düngersystems	FHNW/IA	Keller Jürg	Jermann Goran
Entwicklung eines Frequenzgangmesswagens für Stromwandler	Pfiffner Messwandler AG	Besselmann Thomas	Marchese Abele
Konzept für ein Predictive Maintenance Tool	Zaugg Maschinenbau AG	Anderegg Roland	Hoffmann Florian
DashCam für eine Werkzeugmaschine	Agathon AG	Eichin Heinz	Eiholzer Kilian
Datenerfassung zur Fertigungsoptimierung von hochpräzisen Werkstücken	FAES-PWR AG	Edelmann Max Zingrich Robin	Auchter Lui
Sensor-Datenerfassung für Verpackungsanlagen	Acino Pharma AG	Böller Michael Steiner Marcel	Wullschleger Manuel
Automatisierung Verladewagen	Sersa Maschinelles Gleisbau AG	Anderegg Roland	Spadola Dario
Automatisierung Tischbombenmontage	Constri AG	Eichin Heinz Gebhardt Jan	Ernst Gian-Marco
Entwicklung des Antriebs, der Steuerung und der Navigation für einen Reinigungsroboter	Mariner3S	Pischtschan Martin Kobler Stefan	Friedli Marc
Erweiterung der Benutzerschnittstellen für eine kommerzielle Plattform eines Agro-Düngersystems	FHNW/IA	Keller Jürg	Meneghin Till

Studiengang

Elektro- und Informationstechnik

Systemtechnik

Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden

Projektthema	Auftraggeber	Advisor	Studierende
Optimierung der Dicke von 3D-gedruckten Elektroblechen	Exentis Group AG	Gysin Hans	Pedolin Kilian
Weiterentwicklung der Teilennachverfolgung und der Tools für hochpräzise Metallteile	FAES-PWR ESTECH AG	Gysin Hans	Pedolin Kilian
Entwicklung einer Maschinensteuerung für den Umgang mit Kollisionen im Blechbiegeprozess	Haeusler AG	Edelmann Max	Noah Winkler
Untersuchung der Leistungsfähigkeit eines automatisierten Blechbiegeprozesses	Haeusler AG	Edelmann Max	Sonderegger Andrej
Genauigkeitsoptimierung eines Industrieroboters mittels externem Messsystem	Ruag AG	Anderegg Roland	Flucher Gianin
Automatische Parametrisierung eines "fixed-wing" Modellflugzeugs	TELLnet AG	Keller Jürg	Jakober Daniel
Entwicklung eines Regelverfahrens zur Kompensation der Haftreibung von Linearmotoren.	NTI AG	Thomas Besselmann	Matthias Geissmann
Aligner 4.0 – Inbetriebnahme eines Prototyps zur Laserbearbeitung von Zahnschienen	Nivellmedical AG	Anderegg Roland	Pyrochta Jan
Energieeffiziente Grossbildschirme	Schaltag AG	Gysin Hans	Strassmann Nils
Verschleissgradbestimmung an Hartmetallfräswerkzeugen	Fraisa SA	Thomas Besselmann	Antonio Bruno
Intelligente Werkzeugverschleisserkennung	Fraisa SA	Thomas Besselmann	Antonio Bruno
Integration und Validation Deckelhandling auf einem elektromechanischen Doserverschliesser	Ferrum AG	Pascal Schleuniger	Maik Müller
Systemintegration eines elektromechanischen Doserverschleisser	Ferrum AG	Pascal Schleuniger	Maik Müller



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