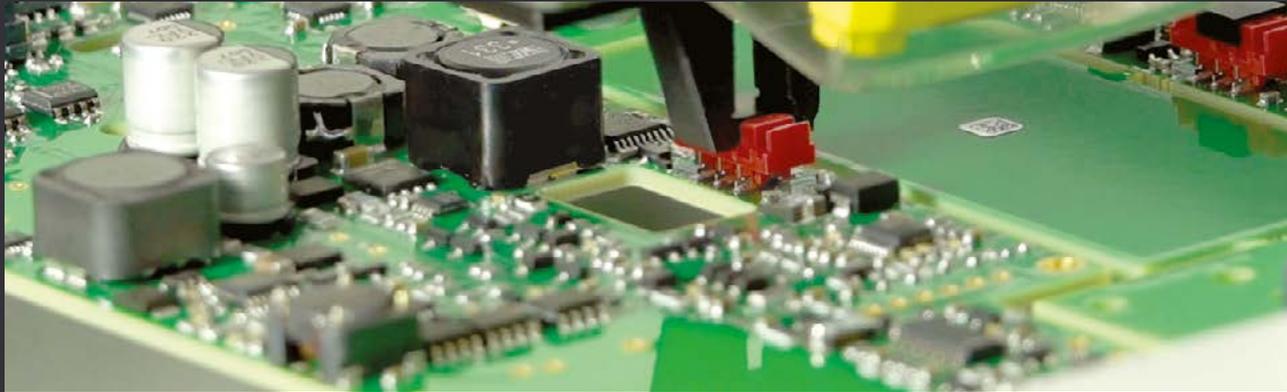
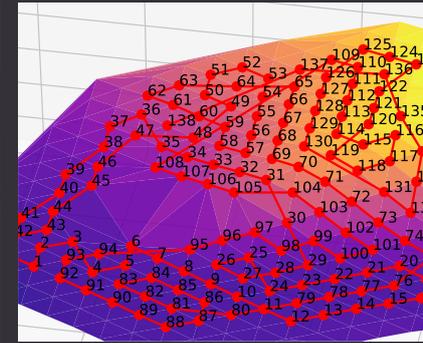
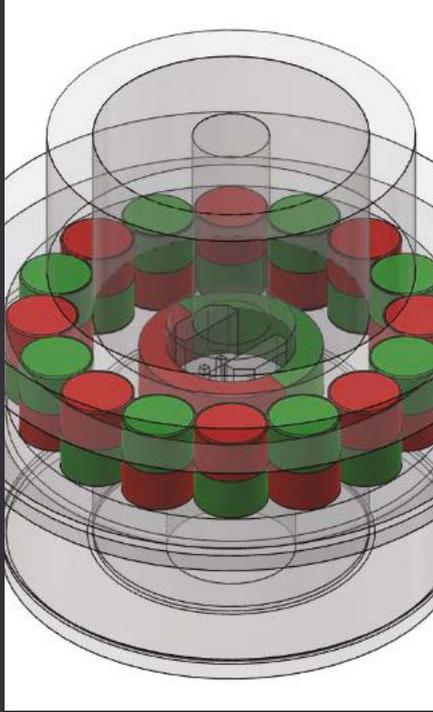


**Institut für Automation  
Tätigkeitsbericht 2018**  
[www.fhnw.ch/ia](http://www.fhnw.ch/ia)



# Inhalt

---

## 3 Editorial

---

### Forschungskompetenz Moderne Regelungstechnik

---

4 **Elektronische Drehzahlregelung Turbine**  
Stefan Ineichen

---

8 **Präzisionslandwirtschaft mithilfe von autonomen Flächenfliegern**  
Stefan Umbricht

---

### Forschungskompetenz Industrielle Automation und Gebäudeautomation

---

10 **Aligner 4.0 - Individualisierte, automatisierte Herstellung von Zahnschienen**  
Jeremy Genter

---

12 **AMORiv - Ein Roboter zur automatischen Bildverarbeitung von Mikrofossilien**  
Daniel Binggeli

---

14 **Areal - Strombörse**  
Hans Gysin

---

16 **Digitalisiertes One Shift Battery Tool**  
Hans Gysin

---

18 **Casting 4.0 Vision of the digitalized Foundry**  
Matthias Füglistner

---

20 **Kaffee-Mobil**  
Hannes Amport

---

22 **Optimale, automatisiert berechnete Korrekturmassnahmen in der modellbasierten mechanischen Fertigung**  
Thomas Moser

---

26 **Online-Diagnose von Abwasserreinigungsanlagen**  
Hannes Amport

---

28 **Optische Positionsbestimmung**  
Pascal Schleuniger

---

---

30 **Robotergestütztes Kappentfernen vor AOI Prozess**  
Christoph Doggwiler

---

34 **Visualisierung von Fertigungsprozessen**  
Silvano Germann

---

### Forschungskompetenz Mechatronik

---

36 **Anlagenautomatisierung verhilft zu neuen Krebs-Behandlungsmethoden am PSI**  
Benjamin Graber

---

39 **Modellierung von strukturelastischen Effekten in hochpräzisen Bearbeitungsmaschinen**  
Thomas Bucher

---

42 **NanoFrazor Scholar – hochauflösendes Nanolithographie-Tool für Technologie Einsteiger**  
Robin Erne

---

44 **Optimierung einer Trajektorie für Laserbearbeitungsmaschinen**  
Basil Ruch

---

### Nachwuchsförderung sowie Aus- und Weiterbildung

---

48 **Steuerung zur Einstellung der Geschwindigkeit eines elektrifizierten Rollators**  
Joachim Villinger

---

50 **Ersatz von konventionellen Wandlern durch Sensoren in Mittel- und Hochspannungsanlagen**  
Christian Voser

---

52 **Motivation für MINT**  
Raphael Waltenspül

---

54 **Studierendenprojekte**

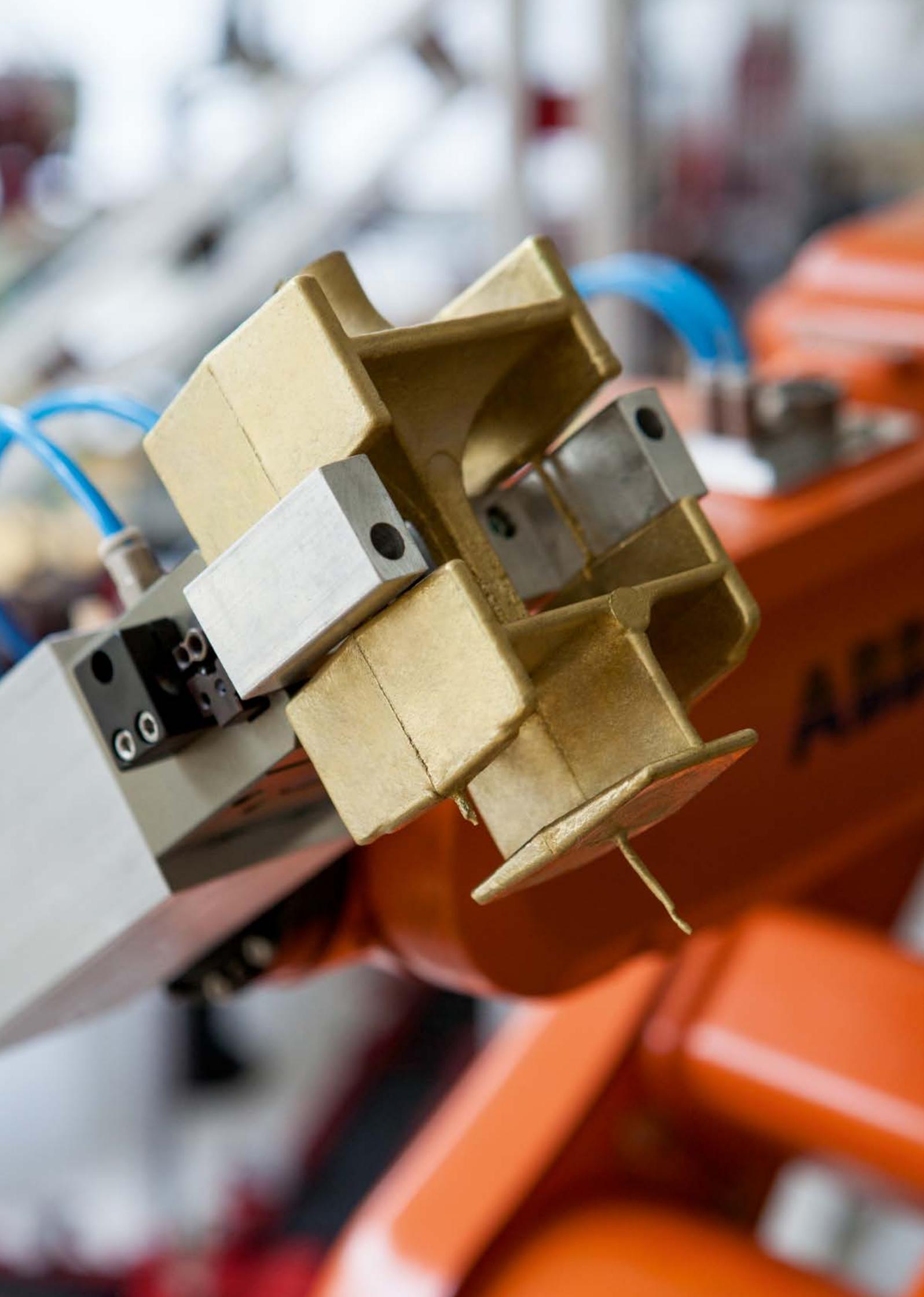
---

56 **Publikationen**

---

56 **Konferenzbeiträge**

---



# Editorial

## Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Wird die Digitalisierung die Mitarbeiter des Instituts für Automation überflüssig machen? Es ist sicher nötig, sich darüber Gedanken zu machen. Man kann die Frage aber auch anders formulieren. Was bietet die Digitalisierung für Chancen, innovative Ideen in Lösungen umzusetzen, die der Gesellschaft einen Nutzen bringen? Was am Institut für Automation bezüglich dieser zukunftsorientierten Fragestellung gedacht und realisiert wird, können Sie anhand realisierter Beispiele im Tätigkeitsbericht nachlesen.

Im Rahmen der Ausbildung durfte unser Institut den Unterricht in den Studiengängen Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektro- und Informationstechnik und Energie- und Umwelttechnik wahrnehmen. Die Krönung einer Ausbildung bildet die Abschlussarbeit. Darum finden diese als Leistungsausweis auch immer ihren Platz in diesem Bericht. In der Weiterbildung leistet das Institut für Automation einen wesentlichen Beitrag im MAS Automation Management. Seit vielen Jahren ist uns auch die Jugendförderung ein wichtiges Anliegen: First-Lego-League, Mint-Summercamp und verschiedene Einsätze in Ferienpassangeboten.

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!

Freundlichst



Roland Anderegg  
Institutsleiter



Jürg Peter Keller  
Stellvertretender Institutsleiter

# Elektronische Drehzahlregelung einer Laval-Turbine

Die Projektarbeit: «Elektronische Drehzahlregelung einer Laval-Turbine» behandelt die Umsetzung einer Regelung der Abtriebs-Drehzahl von druckluftbetriebenen Handwerkzeugen. In Zusammenarbeit mit der Otto Suhner AG ist durch dieses Projekt eine Neuentwicklung entstanden.

**Stefan Ineichen**

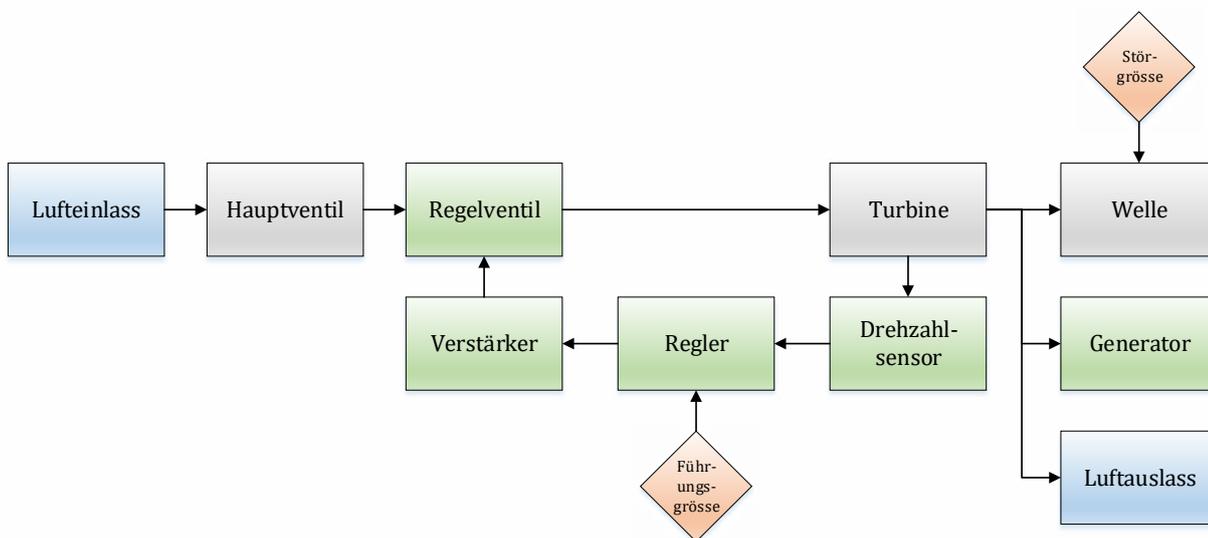


Abbildung 1: Funktion

## Problematik

Heute werden druckluftbetriebene Handwerkzeuge in der Regel mit einem Fliehkraftregler ausgestattet, der im Leerlauf die Luftzufuhr drosselt und bei Belastung wieder freigibt. Die Leerlaufdrehzahl wird dadurch reduziert und stabilisiert. Der aktuell übliche, mechanische Regler ist für eine bestimmte Drehzahl konzipiert und lässt sich von aussen durch den Anwender nicht verstellen, da er in die Maschine integriert ist und mit der Motorenachse rotiert, zudem führen Fertigungstoleranzen zu grossen Abweichungen der Leerlaufdrehzahl. Ein neues Produkt gibt dem Anwender die Möglichkeit, die Abtriebs-Drehzahl des druckluftbetriebenen Handwerkzeugs individuell zu bestimmen. Mithilfe eines speziellen Regelventils, einem Generator sowie einer elektrischen Regelung setzt sich das Funktionsmuster des Produktes zusammen.

## Funktion

In einem ersten Schritt wird Druckluft in das Gerät eingespeist (Abbildung 1). Direkt nach dem Lufteinlass befindet sich das Hauptventil, dieses dient zum Ein- und Ausschalten des Gerätes. Um den Fluss der Druckluft zu regeln, ist das Regelventil nach dem Hauptventil eingebaut. Aufgrund eines geschlossenen Regelkreises ist die Öffnung des Regelventils abhängig von der Belastung bzw. Drehzahl der Welle. Weiter ist die Öffnung abhängig von der Führungsgrösse. Die Führungsgrösse stellt der Anwender mithilfe eines Potentiometers ein und bestimmt somit die zu regelnde Drehzahl. Nach dem Regelventil strömt der geregelte Druckluftfluss in die Turbine, bei welcher die Energie der Druckluft in eine rotative Energie umgesetzt wird. Die Welle dreht sich. Der Regelkreis des Gerätes wird mit einem Generator, der auf der Turbinenwelle sitzt, mit elektrischer Energie versorgt. Damit die Versorgung der Regelelektronik mit elektrischer Energie auch bei nicht betätigtem Regelventil sichergestellt ist, wird ein Teil der Druckluft direkt, ohne Betätigung des Regelventils, zur Turbine geleitet. So entsteht eine definierte, niedrigste Drehzahl, die nach Betätigen des Hauptventils erreicht wird. Mittels dieser Grunddrehzahl erzeugt der Generator genügend Leistung, damit die Elektronik des Druckluftgerätes stets versorgt ist.

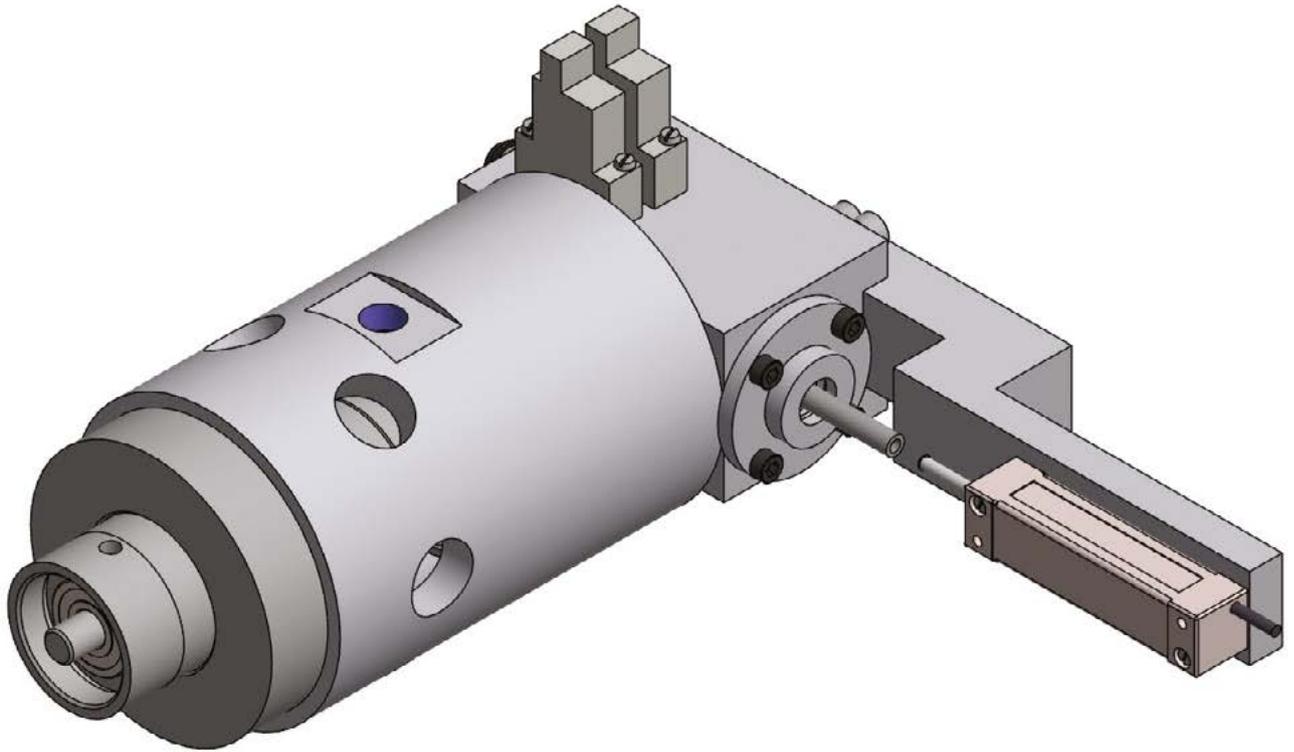


Abbildung 2: Testaufbau

### Testaufbau

Um die beschriebene Funktion anhand realer Bedingungen zu testen, dient ein Testaufbau (Abbildung 2). Anhand des Aufbaus lässt sich einerseits die Machbarkeit prüfen. Andererseits können so Probleme, die bei einer Serienproduktion des Druckluftgerätes allenfalls auftreten, aufgedeckt und beschrieben werden. Im Testaufbau sind alle funktionsrelevanten Baugruppen vorhanden. Der Regler sowie die restliche Elektronik befinden sich ausserhalb.

Das Ziel des Druckluftgerätes ist es, die eingestellte Drehzahl im definierten Bereich von 4'000 rpm bis 10'000 rpm an der Abtriebs-Welle auch unter Einfluss von gewissen Störgrössen zu erreichen.

### Regelventil

Ein wichtiges Bauteil des Druckluftgerätes ist das Regelventil. Es dient zum Einstellen des Druckluftflusses zur Turbine. Grundsätzlich stellt das Regelventil die Ablösung des Fliehkraftreglers dar. Um das Regelventil anzusteuern, ist einerseits Druckluft notwendig, andererseits elektrische Energie. Ein Vorsteuerventil bildet den elektrischen Aktor des Regelventils. Durch eine Pulsweitenmodulation des Steuersignals stellt sich an einem Schieber ein Druck und somit eine Kraft ein. Eine Feder übt zusätzlich von der Gegenseite des Schiebers eine Kraft aus. Diese beiden am Schieber anliegenden Kräfte bestimmen dessen Position. Aufgrund dieser Position stellt sich ein Druckluftfluss ein.

### Generator

Der Generator (Abbildung 3) dient zur Erzeugung elektrischer Energie innerhalb des Druckluftgerätes. Aufgrund der mechanischen Gegebenheiten treten Drehzahlen von 30'000 rpm bis 75'000 rpm auf. Der Generator soll über einen möglichst grossen Drehzahlbereich genügend Leis-

tung erzeugen, damit der Prozessor früh aufstarten kann. Je früher der Prozessor aufstartet und somit das Regelventil gesteuert geöffnet wird, umso weniger lang muss der Anwender auf den eingestellten Nennbetrieb des Gerätes warten. Mittels des Prinzips «Induktion durch Bewegung» wandelt der Generator die rotative Bewegung in eine Spannung um. Dabei erzeugen 16 axiale Stabmagnete das Magnetfeld.

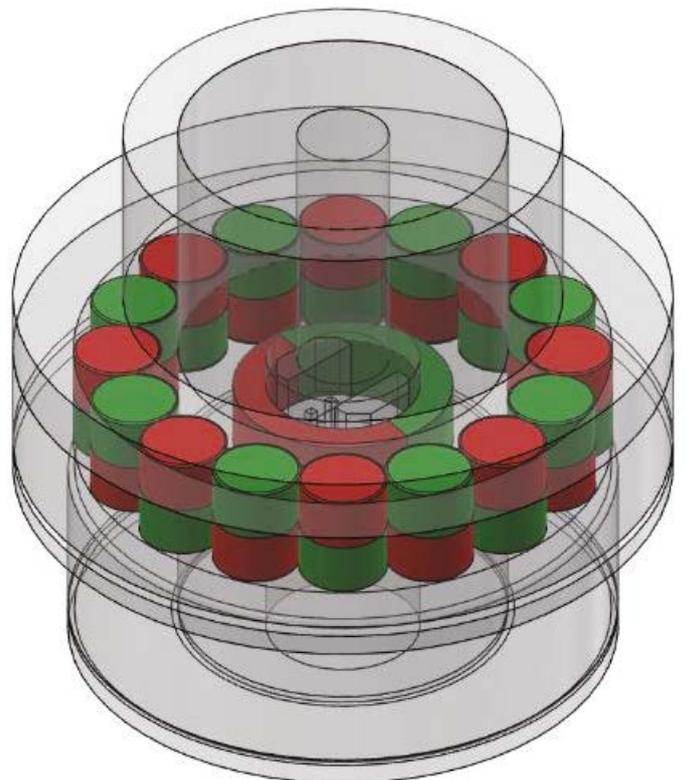


Abbildung 3: Generator

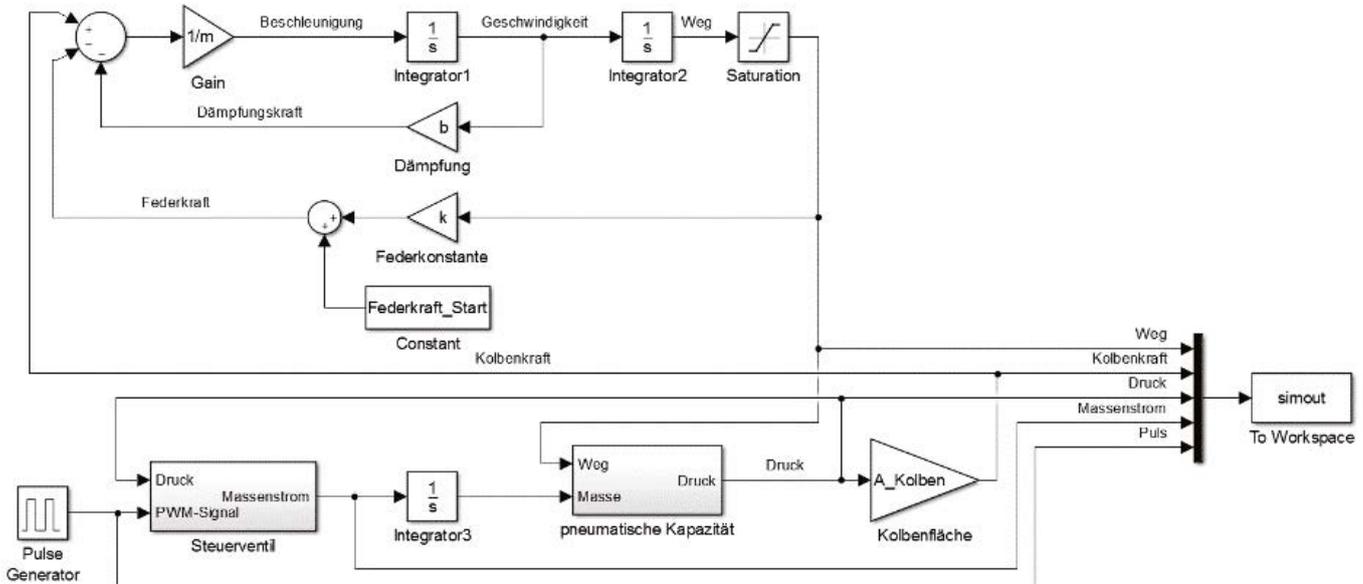


Abbildung 4: Simulation

Um die Magnetfeldlinien zu schliessen, dienen ein Ferritring sowie ein Stahlring als magnetischer Leiter. Auf einem Print in der Mitte des Generators ist der elektrische Leiter aufgeätzt, in den die Spannung induziert wird. Zur Messung der Drehzahl befindet sich weiter ein Ringmagnet im Zentrum des Generators. So wird mittels Hallsensoren die Drehzahl ermittelt.

### Regelung

Eine kaskadierte PI-Regelung bildet die Basis des Reglers des Druckluftgerätes. Sie dient der Regelung der Abtriebsdrehzahl. Umgesetzt ist der Regler durch einen ATmega328 Chip. Dieser berechnet das Stellsignal, welches durch das Regelventil in eine mechanische Bewegung umgesetzt wird. Je nach Öffnung des Regelventils, der Belastung der Abtriebswelle sowie der Einstellung der Führungsgrösse stellt sich durch den Druckluftfluss eine entsprechende Drehzahl der Turbine ein. Das Regelventil und die Turbine bilden zusammen die Regelstrecke.

### Simulation

Da sich gerade das Regelventil des Druckluftgerätes als ein eher komplexes Element erweist, wurde entschieden, das Druckluftgerät zu simulieren. Die Funktion des Regelventils sieht vor, das Ventil mittels eines pulsweitenmodulierten Signals anzusteuern. Mithilfe der Pulsweite lässt sich die Öffnung des Ventils steuern und damit die Drehzahl der Turbine bestimmen. Die Abbildung 4 zeigt den Aufbau der Simulation.

### Ergebnisse

Das Projekt endet mit der erfolgreichen Umsetzung. Diese beinhaltet einen funktionsfähigen Testaufbau, welcher das Zusammenspiel von Regelventil, Generator und Regelung zeigt. Ein Nebenprodukt dieser Projektarbeit ist eine Patenanmeldung, unter anderem mit Nennung des Studierenden.

### Projektteam

#### Otto Suhner AG:

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

#### FHNW:

Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation, roland.anderegg@fhnw.ch  
 Stefan Ineichen, BSc, Masterstudent und Wissenschaftlicher Assistent, stefan.ineichen@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.

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 Projektaufgaben. Mit einer

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

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

## Infoabende

Montag, 26. Juni 2019, 18.15 Uhr in Windisch  
Mittwoch, 26. August 2019, 18.15 Uhr in Windisch  
Montag, 30. Oktober 2019, 18.15 Uhr in Basel  
Weitere Termine unter [www.fhnw.ch/wbt](http://www.fhnw.ch/wbt)

## Informationen und Kontakt

Hochschule für Technik FHNW  
T +41 56 202 99 55  
[weiterbildung.technik@fhnw.ch](mailto:weiterbildung.technik@fhnw.ch)  
[www.fhnw.ch/weiterbildung/technik](http://www.fhnw.ch/weiterbildung/technik)



# Präzisionslandwirtschaft mithilfe von autonomen Flächenfliegern

Durch die rasante Entwicklung im Bereich von Drohnen und autonomen Flächenfliegern werden stetig neue Einsatzmöglichkeiten ermöglicht. Im Bereich von Precision Farming sollen genau diese Drohnen zu einem ökologischeren Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln führen. Mit einem Flächenflieger werden Spektralkamera-Aufnahmen gemacht, woraus Wachstumsstörungen, verursacht durch Krankheiten, erkannt und ein detaillierter Düngerplan erstellt werden kann. So wird eine effizientere Düngung ermöglicht.

**Stefan Umbricht**



In der Landwirtschaft werden Düngermengen durch den Landwirt bestimmt, indem er das Feld begeht, lokale Bodenproben nimmt und mit seiner Erfahrung das Wachstumsstadium abschätzt. Basierend darauf legt er eine konstante Düngermenge für das gesamte Feld fest. Beim Ansatz des «Precision Farming» wird ein Feld mit einer Hyperspektralkamera abgeflogen und aufgezeichnet. Anhand der Hyperspektralbilder können das Wachstumsstadium und der Pflanzenzustand über das ganze Feld ausgewertet werden. Mit diesen Informationen kann ein Düngerplan generiert werden (Abbildung 1), der lokal mehr oder weniger Düngermenge vorsieht. Durch diesen Ansatz können Dünger und Kosten gespart werden und nebenbei wird die Umwelt weniger belastet.

Unser Projektpartner, die TELLnet AG, bringt viel Wissen und Erfahrungen aus dem Bereich des Precision Farming und speziell dem autonomen Befliegen und Auswerten von Landwirtschaftsflächen mit. Um das Precision Farming für die typisch kleinen Parzellengrößen in der Schweiz wirtschaftlich

attraktiv zu gestalten, müssen die Kosten und Aufwände in der gesamten Auswertungskette möglichst gering ausfallen. Um dieses Ziel bei den Befliegungen zu erreichen, wird auf einen Elektrosegler zurückgegriffen, der voll autonom die geforderten Felder abfliegen muss. Dies bedeutet, er sollte einen möglichst effizienten Pfad wählen, Hindernisse erkennen und umfliegen, sowie den Start und die Landung selbständig übernehmen und so den Betrieb auch für Nicht-Modellflugpiloten ermöglichen. In diesen Themenbereichen beteiligt sich das Institut für Automation am Projekt.

## **Flugplattform**

Um im Testbetrieb unabhängig von der Verfügbarkeit des Elektroseglers des Auftraggebers zu sein, wurde an der FHNW ein Modellflieger des Typs «Skywalker EVE-2000» mit einem PixHawk Flugcontroller ausgerüstet und in Betrieb genommen. Weiter wurden ein GPS, Kompass, Luftgeschwindigkeitssensor (Pitot-Rohr), Telemetrie Empfänger, Funkempfänger und ein genügend grosser Akkumulator im Skywalker

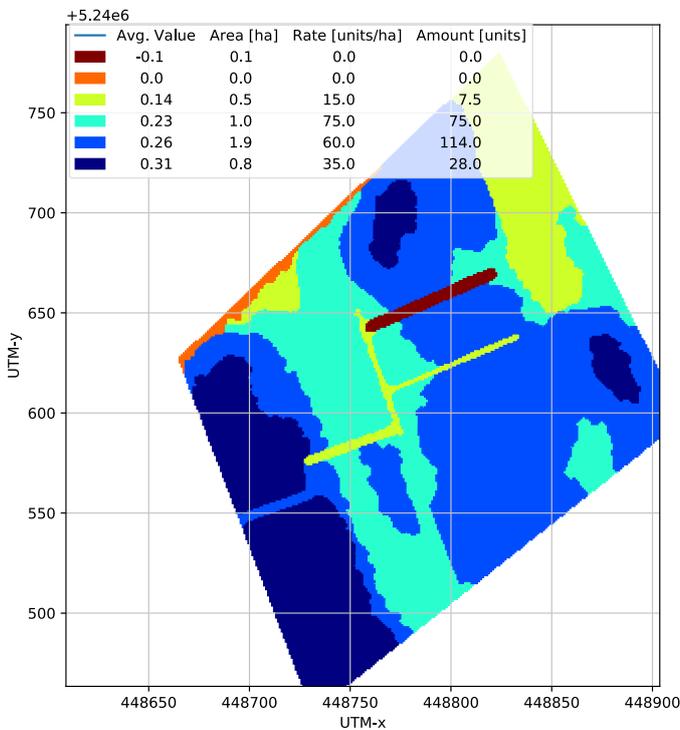


Abbildung 1: Düngerplan eines ausgewerteten Feldes

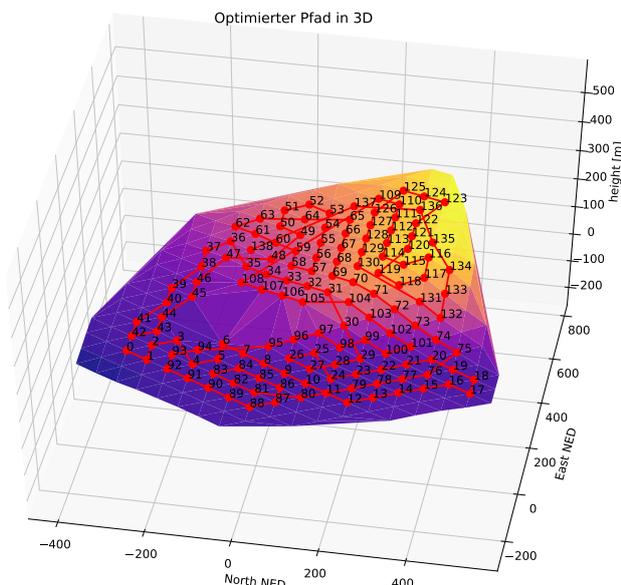


Abbildung 2: Beispiel eines geplanten Pfades der Höhenänderungen und Hindernisse berücksichtigt.

integriert. Auf dem Flugcontroller läuft die Software PX4 aus dem DroneCode Projekt. Mit dieser Software sind die Sensorverarbeitung, die Flugregelung und die gesamte Kommunikation bereits gelöst und können so verwendet werden. Da die Software PX4 das erste Mal im Institut für Automation Anwendung fand, mussten die Software und alle Abhängigkeiten aus dem DroneCode Projekt zuerst verstanden werden. Somit standen die Inbetriebnahme und die ersten Testflüge ganz im Fokus von Anwenden und Verstehen. Dank der bestehenden Software konnten erste autonome Flüge zeitnah und erfolgreich absolviert werden. Dies auch dank der kompetenten Hilfe des Projektpartners, der viele Anwendererfahrungen zur Software einbringen konnte.

### Pfadplanung

Eine der Hauptaufgaben im Projekt ist die Generierung eines Flugpfades, welcher von der Software PX4 abgeflogen wer-

den kann. Dieser generierte Flugpfad muss die Limitierung des Elektroseglers, Hindernisse sowie grössere Unebenheiten im abzufliegenden Felde berücksichtigen. Anhand einer entwickelten Metrik kann die notwendige Energie, um einen generierten Pfad abzufliegen, bestimmt werden. Nachdem der Benutzer ein abzufliegendes Feld definiert hat, wird dieses zu Beginn diskretisiert und in notwendige und freiwillige Punkte unterteilt. Anhand der Energiemetrik und einem an den A\* angelehnten Algorithmus wird ein (fast) optimaler Pfad gesucht. Die so gefundene Punktefolge wird in für PX4 interpretierbare GPS-Koordinaten umgewandelt und der Software so zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel eines zu umfliegenden fertig geplanten Pfades an einem Hang, inklusive Hindernis, ist in Abbildung 2 dargestellt.

### Simulation

Um nicht jeden geplanten Pfad in der Realität austesten zu müssen, wurde zusätzlich ein bestehendes Flugzeugmodell in Gazebo auf die Gegebenheiten des Skywalker adaptiert. Mit diesem Modell können nun optimierte Flugwege direkt auf dem Rechner simuliert und so erste Analysen zur notwendigen Energie durchgeführt werden. Die Auswertung bezüglich Überlappung der aufgenommenen Bilder mithilfe einer Simulation ist in Abbildung 3 dargestellt.

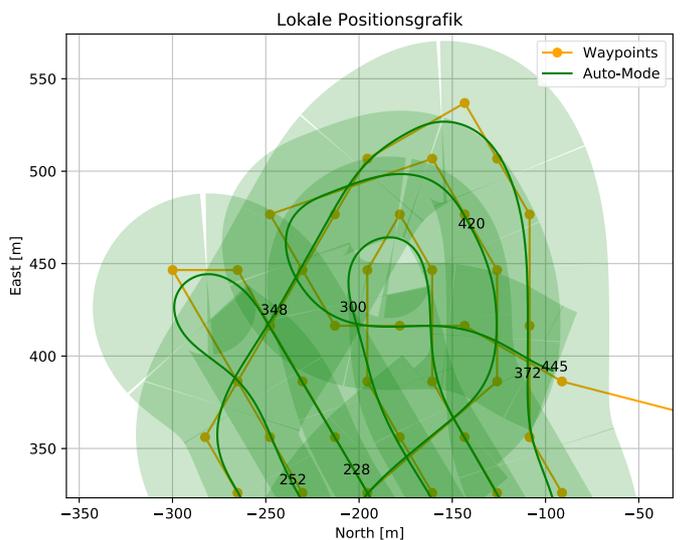


Abbildung 3: Flugdatenauswertung: Überprüfung der Überlappung von aufgenommenen Bildern eines abgeflogenen Pfades

### Schluss

Basierend auf der guten Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber wurde bereits ein weiteres Projekt im Bereich von autonomen Düngern lanciert. Dies, um die komplette Kette des Precision Farming zu vollenden und die Kosten für einen Landwirt weiter zu senken.

Wir bedanken uns herzlich beim Auftraggeber und Projektpartner für die interessante und kooperative Zusammenarbeit.

### Auftraggeber

TELLnet AG, Jakob Strebel, jstrebel@tellnetworks.ch

### Projektteam

Prof. Dr. Jürg P. Keller, Dozent, juerg.keller1@fhnw.ch  
 Stefan Umbricht, BSc Systemtechnik, Masterstudent MSE und Wissenschaftlicher Assistent, stefan.umbricht@fhnw.ch  
 Tobias Zubler, BSc Systemtechnik, Masterstudent MSE und Wissenschaftlicher Assistent, tobias.zubler@fhnw.ch

# Aligner 4.0 - Individualisierte, automatisierte Herstellung von Zahnschienen

Die heutige Produktion von Zahnschienen zur Korrektur von Zahnfehlstellungen, auch «Aligner» genannt, soll aufgrund steigender Nachfrage weiterentwickelt werden. Ziel des Innosuisse Projektes ist es, mittels einer automatischen Produktionslinie eine Möglichkeit zu bieten, dem Wachstum gerecht zu werden.

**Jeremy Genter**

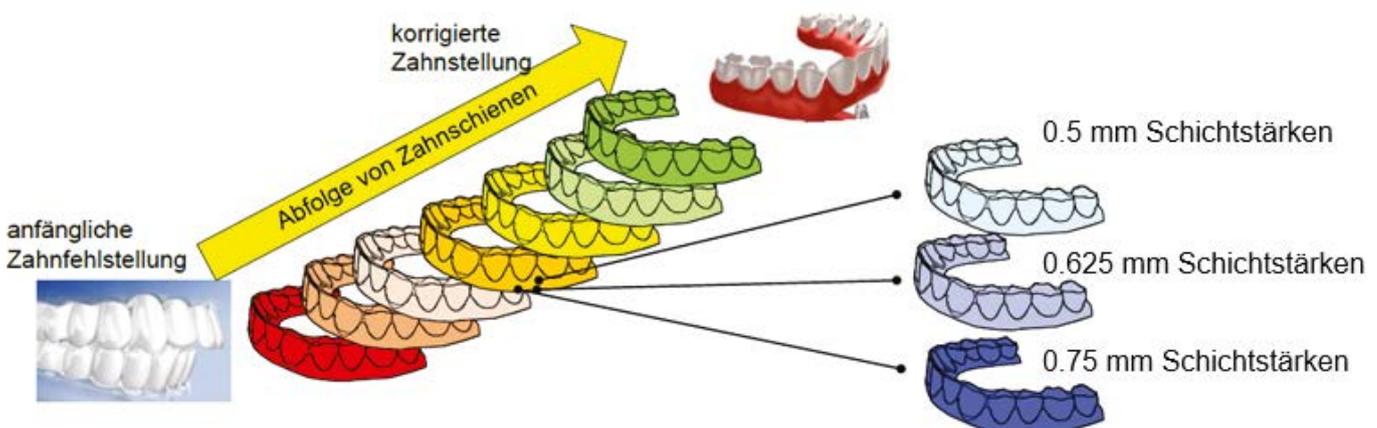


Abbildung 1: Prinzip der Korrektur durch Aligner

Die Zahnkorrektur kann heutzutage nicht nur mit der konventionellen Technik der Multibracket-Apparaturen, umgangssprachlich auch «Gartenhag» genannt, sondern auch über Zahnschienen, die Aligner, erfolgen. Diese Aligner sind transparente Zahnschienen, die Druck auf die Zähne aufbringen und somit Verschiebungen der Zähne bewirken. Dazu werden nach dem digitalen Einscannen des Gebisses virtuell die Behandlungsschritte geplant. Von einem Behandlungsschritt zum nächsten wird die Zahnstellung inkrementell korrigiert bis keine Fehlstellungen mehr präsent sind (Abbildung 1).

Sobald die Behandlungsschritte der Zahnkorrektur feststehen, werden die zugehörigen Gebissmodelle 3D gedruckt. Eine biokompatible Kunststoffolie wird über das Gebissmodell tiefgezogen, ausgeschnitten und vom Modell separiert. Diese Schritte werden in diesem Projekt automatisiert. Durch die individuellen Eigenheiten der Patientinnen und Patienten unterscheidet sich jedes einzelne Stück vom anderem. Deshalb ist ein cyber-physisches System (CPS) nötig, um jedes Stück individuell zu bearbeiten.

## **Bisherige Arbeiten**

Es wurden diverse Konzepte entwickelt und getestet. Dabei hat sich das Ausschneiden und das Separieren als Schwierigkeit erwiesen.

Das Schneidverfahren soll ohne Beschädigung des Gebissmodells funktionieren. Dadurch sind die meist verwendeten Fertigungsverfahren wie Laserschneiden und Fräsen ein No-Go, da mit diesen Verfahren die Gebissmodelle beschädigt werden. Das ausgewählte Verfahren «Ultraschallschneiden» ermöglicht, mit einer abgestimmten Oszillationsfrequenz der Klinge nur spezifisch ausgewählte Materialien zu schneiden, während das Modell sich noch auf dem Gebiss befindet (Abbildung 2). Es entsteht jedoch eine Schmelzkannte an der Schnittstelle, die nachbearbeitet werden muss.

Eine zweite Herausforderung stellt das Separieren dar. Durch Anbringen von Laschen am «Zahnfleisch» des Gebissmodells wurde ermöglicht, den Aligner nach dem Ausschneiden zu separieren. Diese Laschen können nun mit einem Parallelgripper gefasst werden und den Aligner vom Gebissmodell separieren. Diese Herangehensweise dauert länger als die manuelle Bearbeitung und senkt somit den Durchsatz.

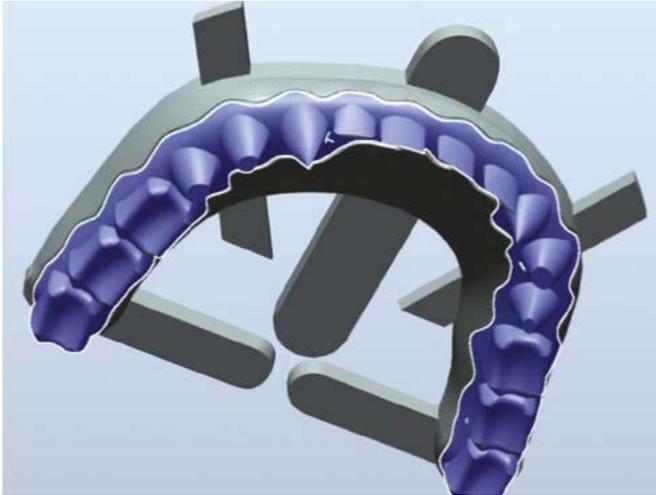


Abbildung 2: Schnittlinie der Aligner

Durch Kostenoptimierungen im 3D Druckprozess ist es nun jedoch möglich, mehrere Gebissmodelle zu drucken. Aus diesem Grund kann in Kauf genommen werden, dass das Gebissmodell während dem Ausschneiden beschädigt wird. Dies lässt die Entwicklung weiterer konzeptioneller Ansätze zu.

**Aktuelle Arbeiten**

Nachdem neue Möglichkeiten zur Bearbeitung offenstehen, kann das Laserschneiden in Betracht gezogen werden. Hierfür betreut das IPPE eine Semester- und eine Bachelorarbeit, in welchen die optimalen Schnittparameter evaluiert werden.

Für das Separieren werden weitere Konzepte getestet und das aktuelle Konzept erweitert, damit die Separationsgeschwindigkeit optimiert werden kann.

Nach dem Laserschneiden müssen die Schnittkanten poliert werden. Hierzu werden die Aligner in einem Wendelförderer mit Granulat gefüllt, gefördert und dort poliert.

Als Nächstes werden die einzelnen Arbeitsschritte miteinander verbunden. Somit kommen industrielle Roboter zum Einsatz. Mit ihnen werden einzelne Stationen bedient oder bestückt.

Zur Klassifizierung werden die Aligner und die Gebissmodelle mit einem QR Code versehen. Somit kann zu jeder Zeit jeder Aligner identifiziert werden. Um auch dies zu garantieren, nachdem der Aligner vom Gebissmodell separiert wurde, wird der hinterste Zahn mit der Identifikation versehen. Dies geschieht über ein Lasermarkiergerät. Die Schwierigkeit in diesem Teilprozess besteht darin, den Aligner so auszurichten, dass der hinterste Zahn im Fokus des Lasers platziert wird.

Sobald die aktuellen Arbeiten abgeschlossen sind, werden diese Schritte in der Praxis implementiert, wie in der Abbildung 3 visualisiert.

**Industriepartner**  
nivellmedical AG

**Projektteam**  
Prof. Dr. Silvia Mastellone, Advisor/Betreuer  
silvia.mastellone@fhnw.ch

**Master-Studierender:**  
Jeremy Genter, BSc HSR in Maschinentechnik,  
Wissenschaftlicher Assistent, Master-Studierender,  
jeremymichael.genter@fhnw.ch

**Bachelor Studierende im Studiengang Systemtechnik:**  
Robin Zingrich, robin.zingrich@students.fhnw.ch  
David Uske, david.uske@students.fhnw.ch  
Matthias Geissmann, matthias.geissmann@students.fhnw.ch  
Simon Steffen, simon.steffen@students.fhnw.ch

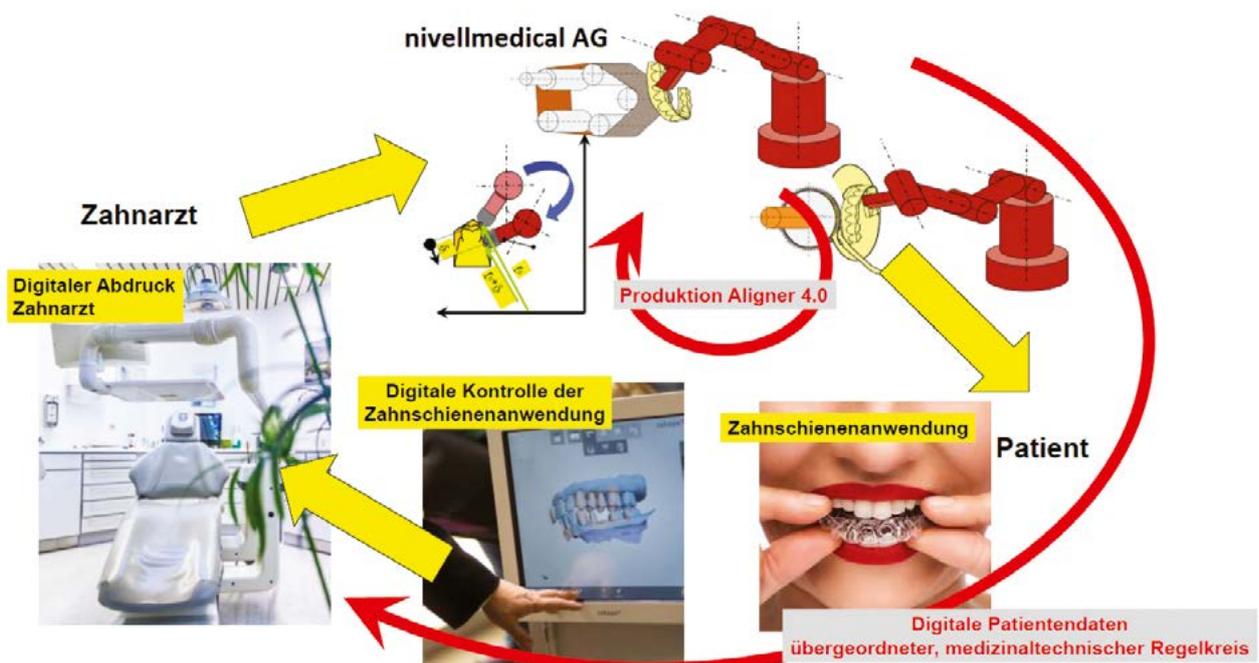


Abbildung 3: Integration der Teilschritte ins Gesamtsystem

# AMORiv - Ein Roboter zur automatischen Bildverarbeitung von Mikrofossilien

Im Rahmen der Projektarbeit «Mikroskop-Tisch 4 Achsen» erfolgten Konzept und Umsetzung des mechatronischen Teils eines Roboters zur automatischen Erfassung von Mikrofossilien. In Zusammenarbeit mit dem Naturhistorischen Museum Basel wurde durch dieses Projekt die Präzision und Kapazität erheblich gesteigert.

**Daniel Binggeli**



Abbildung 1: System-Komponenten: 1. Leica MZ6 Binokular mit Motorfokus (B) 2. Digital Video Kamera (A) 3. Motorzoom (C) 4. 4-Achsen Motortisch (D) 5. Steuerkasten 6. PC mit LabView

## Problematik

Statistisch belastbare morphometrische Informationen über die Variabilität von Mikrofossilien erfordern häufig die Messung von Tausenden von Proben. Die manuelle Erfassung solcher Daten ist zeitraubend und fehleranfällig. Um Effizienz und Präzision der digitalen Bildersammlung von planktonischen Foraminiferen zu verbessern, wurde 2006 in Zusammenarbeit zwischen dem Naturhistorischen Museum

Basel NMB und Studenten und Ingenieuren der FHNW das System AMORiii entwickelt [1].

Um noch grössere Probenzahlen bewältigen zu können, hat das NMB einen weiteren Roboter AMORiv bestellt. Dieser hat alle Funktionen und Eigenschaften von AMORiii und kann mit der gleichen Software betrieben werden.

Um einerseits das Einrichten und den Betrieb des Roboters zu vereinfachen, und andererseits die nach 12 Jahren nicht mehr erhältlichen Komponenten zu ersetzen, enthält das Design einige Verbesserungen. So sind ein völlig neu konstruierter Zoom-Antrieb sowie eine neu konzipierte Steuerung Teil des Systems. Weitere kleinere Änderungen steigern die Benutzerfreundlichkeit von AMORiv nochmals [3] (Abbildung 1).

## Funktion

Durch eine spezielle Anordnung der Achsen des Motorisches wird erreicht, dass alle vier Achsen bewegt werden können, ohne dass das Objekt aus dem Fokus gerät. Das heisst, die Kippachsen liegen in der Fokalebene und schneiden sich in der Bildmitte. Dadurch wird eine effiziente Positionierung der Objekte möglich.

Die Bildgebung von Objekten mit AMOR erfordert vororientierte Proben in einem mehrzelligen Objektträger (Abbildung 2). Nach den Initialisierungsschritten bewegt sich AMOR zuerst in die Mitte eines bestimmten Feldes, fokussiert und neigt den Träger in X- und Y-Richtung, bis die Probe vollständig aufrecht steht. Danach wird der beste Zoomfaktor für die endgültige Abbildung gesucht, nochmals fokussiert und dann ein TIFF-Bild auf dem Datenträger gespeichert (Abbildung 3). Der Objektträger fährt zur nächsten Probe und der Zyklus wiederholt sich, bis die letzte Probe abgebildet wurde.

Die erhaltenen Bilder werden unter Verwendung separater Programme zur Konturenextraktion, Konvertierung von Pixeln in Mikrometern, Datenreduktion, Normalisierung, Extraktion morphometrischer Parameter, Polar Fourier-Analyse oder Ableitung einfacher Statistiken chargenweise verarbeitet [2] (Abbildung 4).

## Routinen

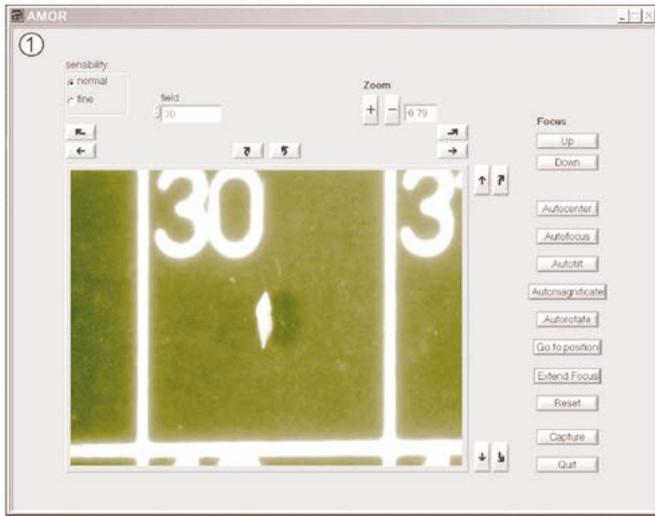


Abbildung 2: Objektträger-Kalibrierung: Die Anzahl der Felder (x, y) pro Träger kann manuell festgelegt, und die Abmessungen der Objektträger können eingelesen werden. Dadurch sind verschiedene Typen und Marken von Trägern verwendbar.

Automatisch drehen: Diese Funktion dreht die Probe auf dem Monitor in eine vertikale Position.

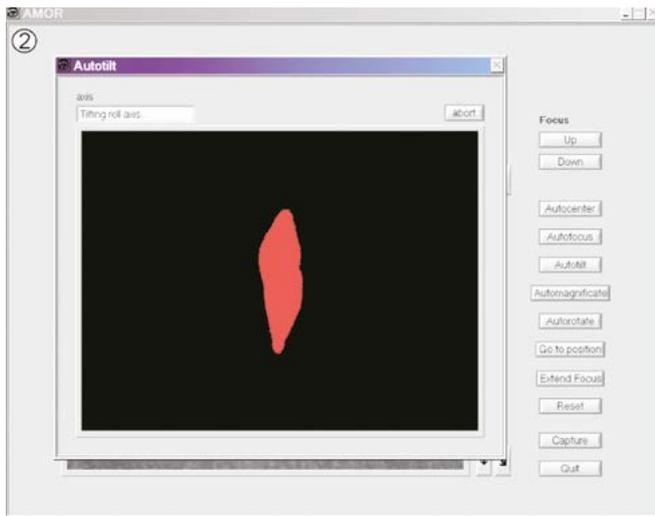


Abbildung 3: Autofokus: Das Objekt wird mittels des Motorfokus über einen automatischen Ablauf scharfgestellt.

Autotilt: Zentrieren einer Probe, danach suchen nach der optimalen Ausrichtung durch schrittweises Kippen. Nach jedem Kippintervall wird die Probe automatisch neu fokussiert.

## Schlussfolgerungen

Die quantitative Suche nach morphologischen Speziationsmustern und die Kartierung morphologischer Trends über Geographie und Zeit („Evolutionäre Prospektion“) erfordert grosse Datenmengen, die nur mit automatisierten Werkzeugen realisiert werden können.

Die Entwicklung von AMORiv erleichtert die routinemässige Sammlung digitaler Bilder von Mikrofossilien und erhöht die Präzision und Kapazität. Die Bearbeitung eines Objektträgers mit 60 Proben dauert etwa 2 Stunden.

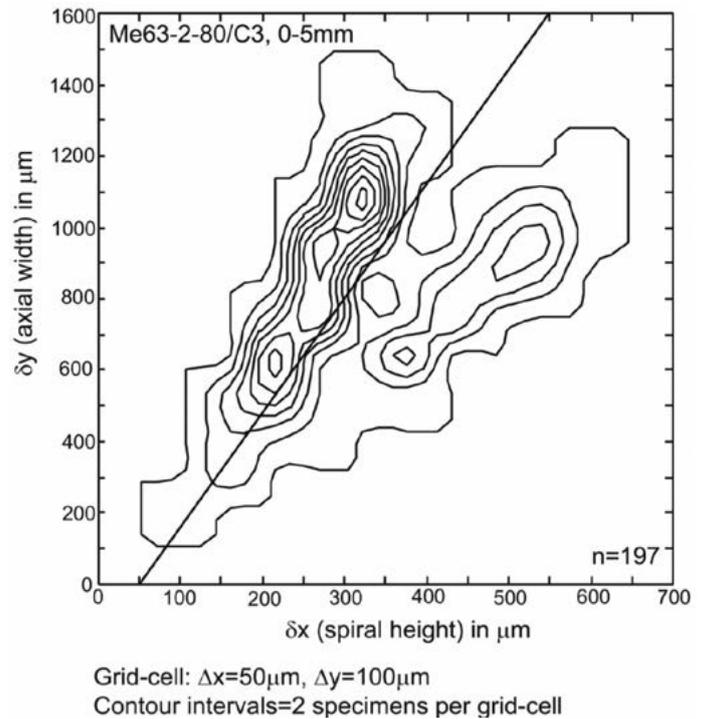


Abbildung 4: Ergebnis am Beispiel

Konturierte Frequenzen von 197 *G. menardii*-Proben im bivariaten Morphospace von  $\delta x$  gegenüber  $\delta y$ , abgeleitet von mit AMOR gesammelten Bildern. Solche Diagramme sind nützlich, um Morphotypen zu klassifizieren. Die Linie zeigt eine Einteilung der Morphotypen in ähnliche Formen wie *G. menardii menardii* (untere Linie) und in *G. menardii cultrata* (obere Linie), [2].

## Projektteam

Michael Knappertsbusch, Kurator Geologie, NMB  
Jean Eisenecker, Freiwilliger Mitarbeiter Projekt AMOR, NMB  
Daniel Binggeli, Dozent Embedded Systems, FHNW,  
daniel.binggeli@fhnw.ch

## Referenzen

- [1] Knappertsbusch, M., Binggeli, D., Herzig, A., Schmutz, L., Stapfer, S., Schneider, C., Eisenecker, J., and Widmer, L. (2009). AMOR – A new system for automated imaging of microfossils for morphometric analyses. *Palaeontologia Electronica*, Vol. 12, Issue 2; 2T: 20 p. [http://palaeo-electronica.org/2009\\_2/165/index.html](http://palaeo-electronica.org/2009_2/165/index.html)
- [2] Knappertsbusch, M., (2007). Morphological variability of *Globorotalia menardii* (planktonic foraminiferan) in two DSDP cores from the Caribbean Sea and the Eastern Equatorial Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Brest, Article 2007/04 (CG2007\_A04).
- [3] Knappertsbusch, M., Eisenecker, J., Binggeli, D. (2019). From AMOR to AMOR2 – Prototypes for Automated Orientation and Imaging of Planktonic Foraminifera for Morphometric Analyses. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 21, EGU 2019

# Areal - Strombörse

In Möriken-Wildegg AG entsteht eine Mehrfamilienhaus-Überbauung mit 4 Häusern nach dem Minergie-P-Eco Standard. Die insgesamt 36 Wohnungen werden als Eigenverbrauchsgemeinschaft betrieben und erhalten einen ausgeklügelten Eigenverbrauchsmanager für die Steuerung und automatische Abrechnung des Energiebezuges nach dem Prinzip des Real-Time-Pricings. Das Bundesamt für Energie unterstützt das Projekt zur Realisierung dieser neuartigen "Strombörse" und verlangt dabei Kontrollmessungen im Betrieb zur Beurteilung der Funktion und Wirkung dieser "Strombörse".

**Hans Gysin**



Abbildung 1: Ausschnitt aus einer Dach-PV-Anlage. Die ganze Überbauung, Dächer, Fassaden und Brüstungen hat eine PV-Leistung von über 160 kWp. Die erwartete Jahresenergieproduktion ist damit etwas grösser als der geplante Energieverbrauch der Überbauung.

## **Problematik**

Planung und Bau ist die eine Seite, der Betrieb die andere Seite einer Anlage. Was, wenn Planung und Betrieb nicht übereinstimmen? Erfahrungen, gerade im Energiebereich, zeigen, dass oft angestrebte, optimistische Ziele nicht erreicht werden oder neue, teilweise unbekannte Effekte die Ziele gar nicht erreichen lassen. Das Bundesamt für Energie hat bei diesem Projekt die messtechnische Überwachung während einer sinnvollen Betriebsphase verlangt, um die Wirksamkeit der Strombörse aufzuzeigen. Das Institut für Automation wurde in diesem Zusammenhang mit der Messung und Auswertung der Energiedaten dieser Anlage beauftragt und in das Projekt integriert. Die eigentliche Problematik liegt dabei nicht bei den Messungen selbst, sondern bei den Faktoren, die massgebende Einflüsse auf die Messresultate haben. Etwas

konkreter ausgedrückt: Wir können aus verschiedenen Gründen die Strombörse nicht einfach ein ganzes Jahr lang ausser Betrieb nehmen, um den Vergleich mit einer ein Jahr laufenden Strombörse zu bekommen. Aber alles, was weniger als ein Jahr gemessen wird, ist in diesem Zusammenhang kaum aussagekräftig.

## **Vorgehen / Umsetzung**

Für die gesamte Anlage wird nur ein gemeinsamer Energiezähler installiert. Von diesem bidirektionalen Stromzähler der RTB Möriken-Wildegg erhalten wir die Viertelstundenwerte des Energiebezuges oder der Rückspeisung der gesamten Anlage. Die Energieverteilungen und -produktionen innerhalb der Anlage werden mit internen Zählern überwacht. Es sind die gleichen Messgeräte und Zähler, die für den Eigenver-

brauchs-Manager, also für die Strombörse, installiert wurden. Von den Wärmepumpen für die Heizung und das Brauchwarmwasser, über die PV-Anlagen, Beleuchtungen, Lüftungen und Haushaltgeräte bis zu den E-Mobil-Ladestationen ist alles elektrisch und wird energiemässig elektrisch gemessen. Die einzige Ausnahme bilden die Warmwasserkreisläufe der Wärmepumpen. Die Energiemengen der Warmwasser- und der Heizkreisläufe werden mit Wärmehzählern erfasst und die Energie in den Wasserspeichern wird über die gemessenen Temperaturen ermittelt. Für die Kontrollmessungen ist ein Viertelstunden-Takt vorgesehen. Der Eigenverbrauchsmanager braucht kürzere Intervalle, aber zur Beurteilung der Energiebezugsverläufe und der Strombörsen-Funktionen sind etwas weniger Daten eher übersichtlicher.

Zur thermischen Speicherung über den Eigenverbrauchsmanager gehören im allgemeinen Bereich der Anlage vor allem die Wärmepumpen mit ihren Heiz- und Brauchwarmwasserspeicher. Im privaten Bereich können die Geschirrspüler, die Waschmaschinen und die Tumbler für den Optimierungsbetrieb freigegeben werden. Bei diesen Minergie-Häusern macht es ebenfalls Sinn, einen Teil der Heizenergie in der Gebäudemasse zu speichern, d.h. bei genügend Stromproduktion der PV-Anlagen kann die Heizungssteuerung die Raumtemperatur erhöhen und dafür in der Nacht die Heizung stark reduzieren. Auch bei winterlichen Temperaturen gehen wir mit dieser Betriebsart nicht von Temperaturschwankungen in den Räumen von grösser einem Grad Celsius aus.

Diese graphische Abschätzung des Energieverbrauchs, bzw. der Energieproduktion für einen sonnigen Sommertag zeigt schon einige Probleme der Eigenverbrauchsoptimierung. So müssen neben der Wärmepumpe auch noch E-Mobil Ladestationen in Betrieb genommen werden, um überhaupt einen bedeutenden Eigenverbrauchsanteil zu erhalten. Der Verbrauch der Haushalte ist praktisch vernachlässigbar. Die gelbe Kurve zeigt, dass fast die gesamte produzierte Energie ins Netz zurück gespeist wird. Das kontrollierte Laden der E-Mobile wird also in Zukunft eine grosse Bedeutung für den Eigenverbrauch erhalten. Solche Abschätzungen von Tagesverläufen dienen der Vorbereitung für eine übersichtliche Darstellung der Messungen zur Beurteilung der Strombörse.



Abbildung 2: Ein Blick auf eines der Elektrotableaus. Neben allen Temperaturmessgeräten und Wärmehzählern sind gegen 80 elektrische Energiezähler installiert und mit einem Bussystem an die zentrale Steuerung der Strombörse angeschlossen. Die Rohdaten dieser Energiezähler stehen für die Messüberwachung der Anlage zur Verfügung.

### Ausblick

Die vier Gebäude der Überbauung werden im Verlauf des Jahres 2019 gestaffelt in Betrieb genommen. Eine vollständige Messüberwachung der gesamten Anlage ist somit erst ab Herbst 2019 möglich. Die Messdatenerfassung und -auswertung und die entsprechende Ermittlung der Kennzahlen sowie die Beurteilung der Funktion der Strombörse werden also zwischen Herbst 2019 und Herbst 2020 stattfinden. Die Auswertungen und Dokumentationen werden in dieser Zeit laufend erledigt, so dass beim Abschluss des Projektes im Herbst 2020 die Resultate in Form des Abschlussberichtes vorliegen.

### Projektteam

#### FHNW / Institut für Automation:

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

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

#### In Zusammenarbeit mit:

Smart Energy Control GmbH, Ein Spin off der FHNW (Eigenverbrauchsoptimierung)

Setz Architektur, Rapperswil (Planung der Arealüberbauung)

RTB Möriken-Wildegg (Stromlieferant, Messung und Abrechnung Stromkosten)

Bundesamt für Energie BFE (Forschungsprogramm Energie in Gebäuden)

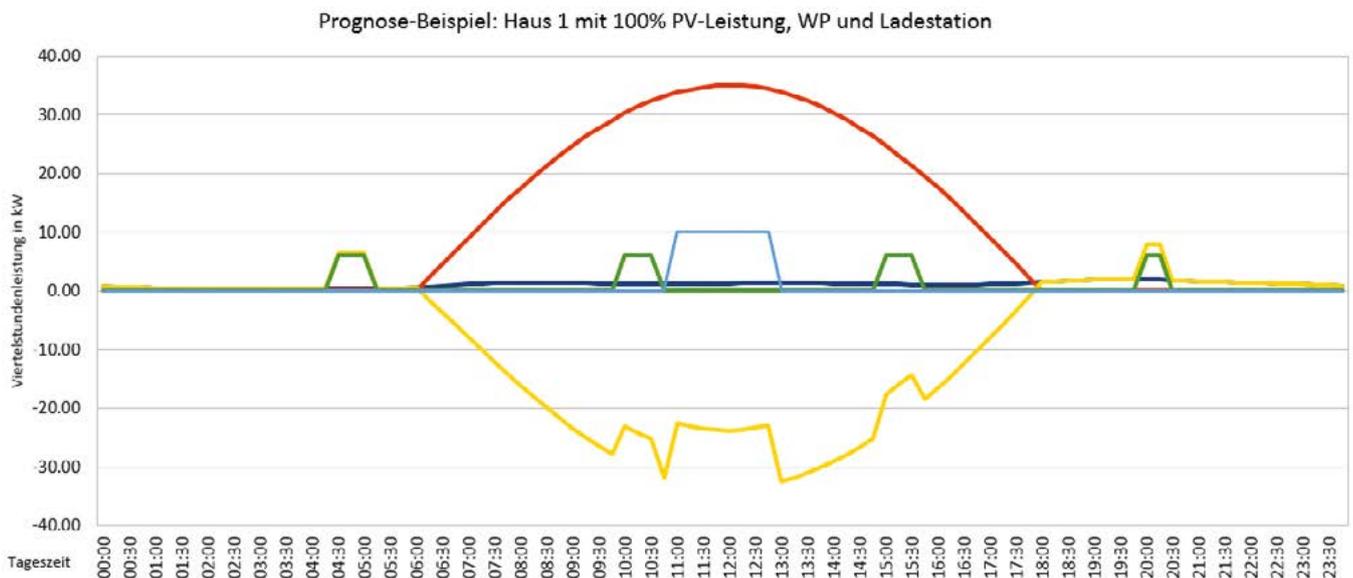


Abbildung 3: Betriebsabschätzung mit Plandaten für Haus 1. Rot: 100% PV- Leistung. Dunkelblau: Verbrauch der Haushalte. Grün: Wärmepumpe Hellblau: 10kW Ladestation E-Mobil (Beispiel für EFH)

# Digitalisiertes One Shift Battery Tool

Im Bereich Elektrowerkzeuge steht die Umstellung von kabelgebundenen Handwerkzeugen auf akkubetriebene Geräte zunehmend im Vordergrund. Dabei spielen die bürstenlose DC- Motorentechnologie und die Lithium-Ionen Akkumulatoren eine wichtige Rolle. In diesem KTI-Innosuisse-Projekt soll ein funktionsfähiger Prototyp eines Handschleifgerätes entstehen.

**Hans Gysin**

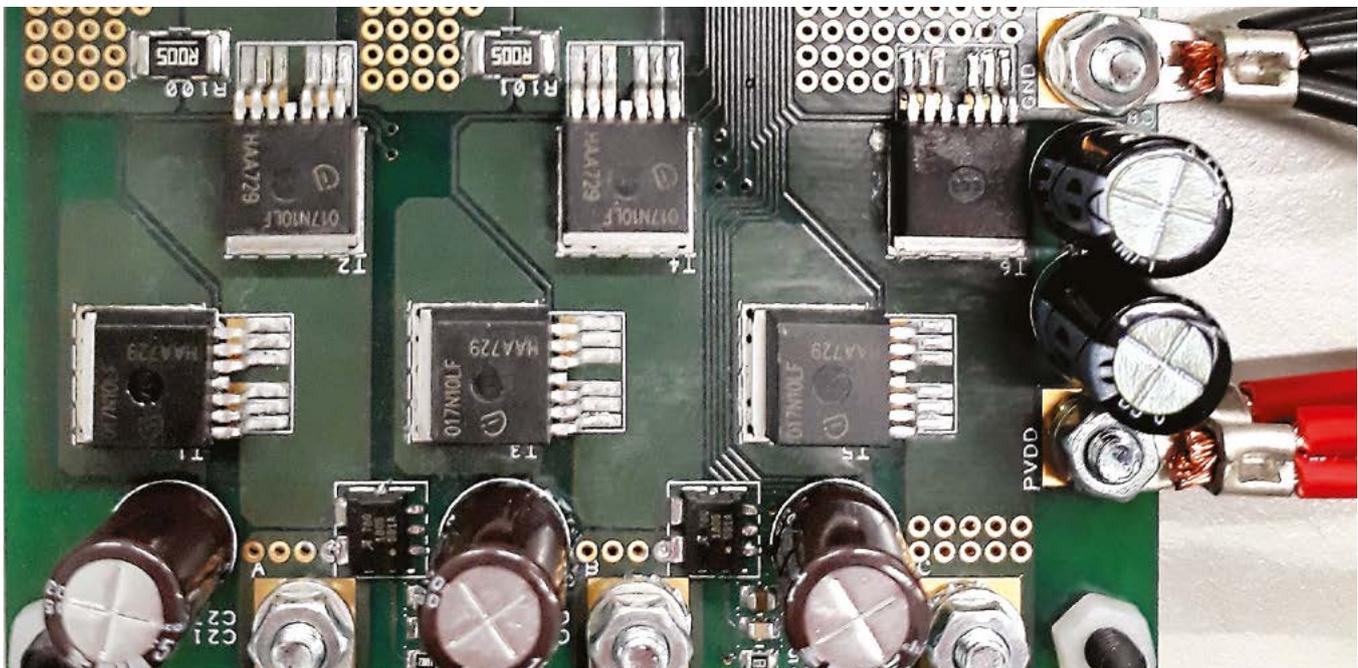


Abbildung 1: Der Ausschnitt aus dem Treiberprint zeigt die 3-Phasen-H-Brücke zur Ansteuerung des bürstenlosen DC-Motors. Dieser Treiberprint wurde für das Funktionsmuster entwickelt und wird für den Prototypen mit dem Steuerungsprozessor ergänzt.

## **Problematik**

Die Otto Suhner AG ist ein führender Hersteller von Druckluftwerkzeugen im Bereich des professionellen Schleifens, Schneidens und Bohrens. Die Drucklufttechnik ist weltweit im Rückzug, da sie ineffizient und teuer ist und teilweise in der Flugzeug- und der Automobilindustrie in naher Zukunft nicht mehr eingesetzt werden darf. Aus diesen Gründen wurde ein KTI-Innosuisse-Projekt gestartet, das die Grundlagen für den Technologiewechsel zu den kabellosen, akkubetriebenen Elektrowerkzeugen erarbeitet und zu einem Prototyp führt. Im Fokus stehen Werkzeuge mit mehr als 500W Leistung an der Spindel, die hocheffizient arbeiten und den Bearbeitungsprozess optimieren. Die Effizienz wird sichergestellt, indem die Hauptkomponenten des Werkzeugsystems, die Spindeltechnik, der elektrische Antrieb, die Antriebssteu-

erung, die Akkutechnologie, die Ladung der Akkus sowie die Kühlung des Antriebs und der Akkus auf die Anwendungsbedürfnisse hin optimiert werden.

## **Vorgehen**

Die ersten Arbeiten an diesem Tool galten der Modellierung des Elektroantriebs. In einer vorangegangenen Studienarbeit wurde bereits der Druckluftantrieb entsprechend modelliert und validiert. Somit sind wir in der Lage, bei Simulationen des Antriebsverhaltens die notwendige Regelsensorik und Parametrierung zu bestimmen und vergleichsweise mit dem Druckluftantrieb zu beurteilen.

Zur Validierung des elektrischen Antriebsmodells ist der Bau eines Funktionsmusters im Gange. Dieses Funktionsmuster,

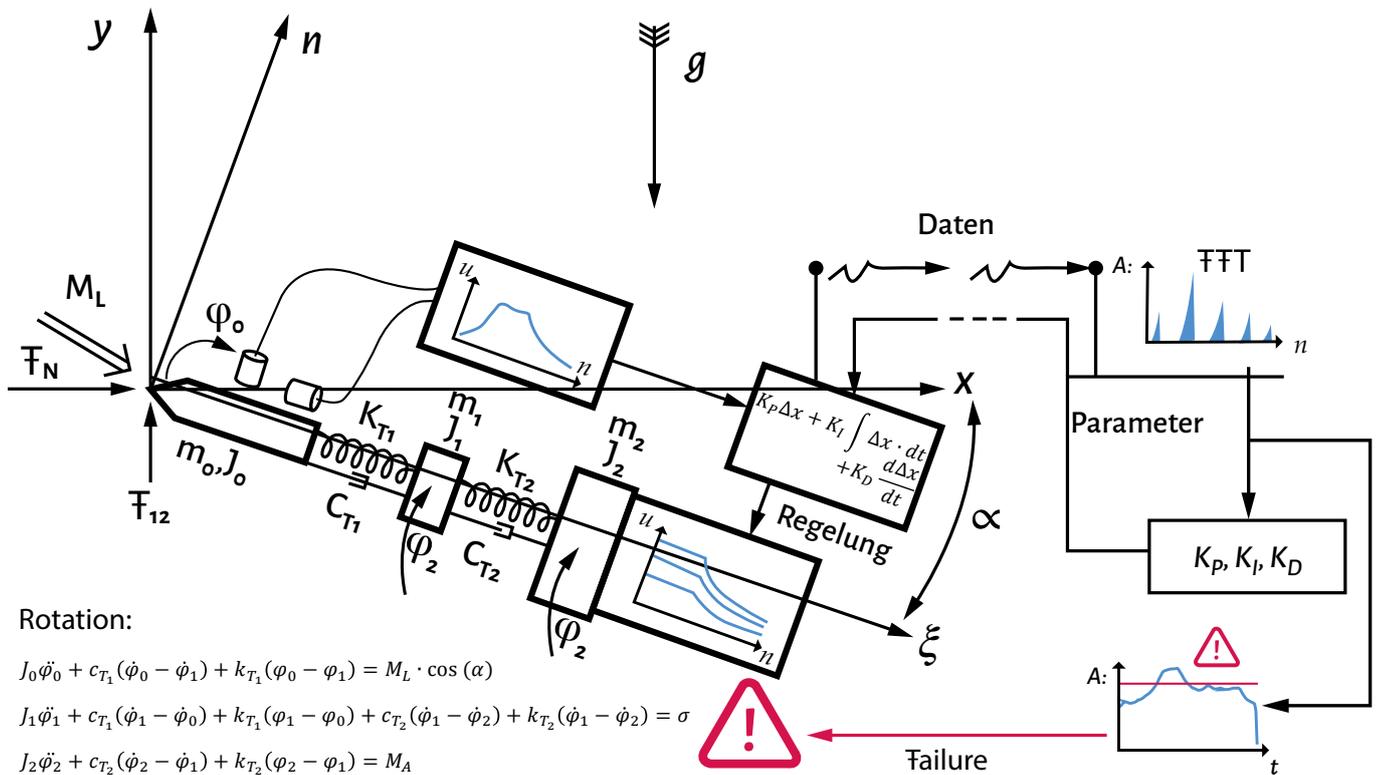


Abbildung 2: Vereinfachter Ansatz einer analytischen Modellierung des mechatronischen Systems. Die Mechanik wird mit Hilfe eines Torsionsschwingers abgebildet, der mindestens drei Freiheitsgrade aufweist. Ergänzt mit der Modellbildung des Elektromotors und der Regelungstechnik entstand ein erstes, einfaches Simulationsmodell.

in Form eines Winkelschleifers mit 1 kW Wellenleistung, soll den Test von grundsätzlichen Funktionen erlauben. So müssen neben dem Antrieb und der Antriebssteuerung auch der Akku, die Akkuladung und die Kühlung getestet werden können. Die "Digitalisierung" des Werkzeuges ist für spätere Projektphasen vorgesehen.

### Umsetzung

Die grundlegenden Arbeiten und Abklärungen für die Realisierung des Funktionsmusters sind abgeschlossen. So wurden z.B. ein bürstenloser DC-Motor evaluiert und ein passender Treiberprint entwickelt. Der Motorcontroller ist für die ersten Untersuchungen in einem myRIO-Modul von National Instruments implementiert und kann somit komfortabel vom Laptop aus "entwickelt" werden. Im myRIO treffen alle systemrelevanten Prozesssignale zusammen und führen zu entsprechenden Steuerbefehlen an die Gate-Treiber, welche die H-Brücke und dadurch den bürstenlosen DC-Motor steuern bzw. überwachen. Die Messwerte der Strangströme, der Position und der Temperatur sind im Moment die Rückführungen zur Motorenregelung. Im Hinblick auf die Umsetzung aller Teilsysteme des Handschleifgerätes ist die Anbindung weiterer, optionaler Sensoren, beim Funktionsmuster vorgesehen.

Der Akkumulator wird mit Li-Ion Zellen von rund 200 Wh mit entsprechender Überwachung realisiert. Die Ladung ist kontaktlos über ein induktives Ladegerät vorgesehen. Eine begleitende Masterthesis zum Thema induktives Laden ermittelte die Prinzipien und Spulenanordnungen, um ein "unpräzise" hingelagtes Werkzeug mit rund 300 W zu laden.

Damit kann man in den Arbeitspausen eine sinnvolle Nachladung realisieren. Aktuell ist auch die Konstruktion des Funktionsmusters in Arbeit inklusive der Lösung der Kühlprobleme. Bei diesen Leistungen bilden die Kühlung des Motors, der Akkus und der Treiberelektronik ein wichtiges Thema. Die Akkus müssen bei dieser Ladeleistung auch für die Nachladung bei "stehendem" Werkzeug gekühlt werden.

### Ausblick

Auf Grund der Erfahrungen mit dem Test des Funktionsmusters werden alle Komponenten für ihre definitiven Funktionen optimiert. Neben den zu erwartenden Verbesserungsarbeiten für die Ladung und Kühlung des Werkzeuges werden auch die Akkus und der Motor den zwischenzeitlich technologischen Verbesserungen nachgeführt, wenn es die Wirtschaftlichkeit erlaubt. Die grosse zukünftige Arbeit bis zur Fertigstellung des Prototyps wird aber zweifellos die "Digitalisierung" des Werkzeuges sein.

### Projektteam

#### Otto Suhner AG:

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

#### FHNW / Institut für Automation:

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

# Casting 4.0 Vision of the digitalized Foundry

With Cyber-Physical Systems to Fully Automatic Cutting Process for Casting.

Matthias Füglistner

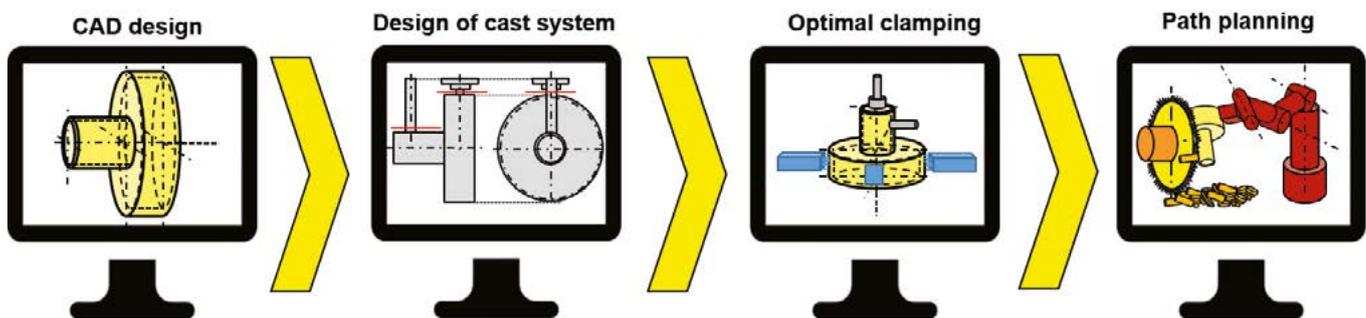


Figure 1: Path of the digital twin: From CAD Design to generating a tool-path and optimal clamping to the virtual final product

High quality standards and high wages demand for rationalization and automation in the small series foundry production. The first automation approaches in the field of molding and casting processes were already pushed forward in the 1980s and are now part of the basic equipment of the modern foundry industry. However, fettling of casting was excluded from innovations, although this area is responsible for a major part of the costs. In particular, the process of cutting feeders and sprue material has great potential for improvement.

In this area major issues prevent increasing levels of automation. One of the biggest problems is robot path planning. It involves a great deal of effort for automated fettling and is only profitable for large series. In addition, well-founded knowledge in the field of robots is required, which is not available in foundries with small series production.

This issue leads to the aim of the project, which is to simplify the entire process of automated fettling in such a way that a minimum knowledge in the field of robotics is required. In addition, robotics can be introduced into the small series foundry industry.

To achieve this ambitious goal, the primary focus is set on optimized clamping of castings (free-form objects) and an algorithm to generate a tool-path.

## The path of digital twin

To achieve the optimal clamping and robot path planning the concept of digital twin is introduced. The basic geometric model of the cyber-physical system (figure 1)

is based on data from the industrial production 3D sand mold printer. The 3D data contains the geometry of the part as well as the additional sprue parts and is the foundation for the digital optimization of the clamping and the path planning for separating the gating system.

## Optimal Clamping algorithm

To solve the first problem (optimal clamping of castings) three or more universal clamping systems (16 tappets per system) are used for clamping cast parts. This hardware clamping system allows sturdy, positive-fitting and friction-locked connections. Since the geometry of castings may be arbitrary, the exact position for proper clamping is unknown. The optimization of clamping is implemented as a geometric surface analysis and uses curvature as a quality criterion - the more curved the surface, the better the form fits. According to this, the optimum clamping of a casting is achieved at the maximum curvature  $H$  of the surface, which can be solved by the following optimization task with the quality criterion  $J$  (see equations 1,2).

$$J(\varphi_z, z) = \sum_{i=1}^n \|H_i\|_2 \quad (1)$$

$$\varphi_{z \max}, z_{\max} = \max J(\varphi_z, z) \quad (2)$$

## Automated adaptive path planning and simulation

To solve the second problem a combination of the 3D data of the casting and the sprue systems creates slice planes which can be used for cutting. Based on this, the path planning is automatically created which takes into

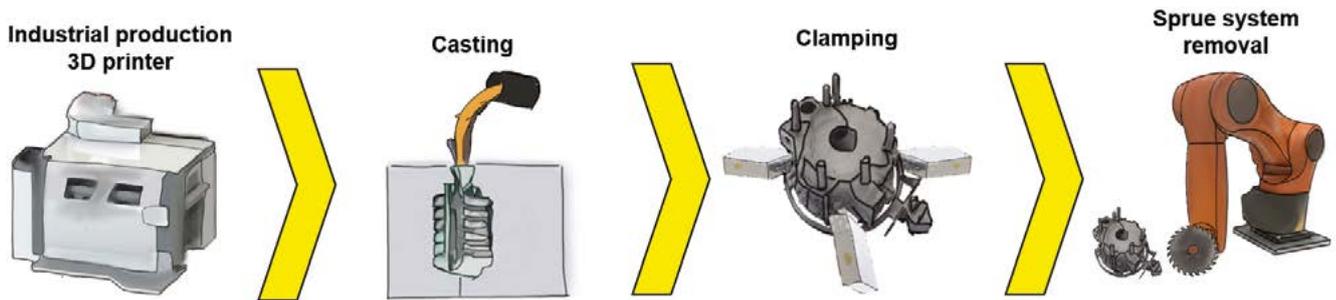


Figure 2: Path of the casting: From 3D sand printer for industrial production to the final-cut product

account the positions of the universal clamping systems and ensures that no cuts damage the casting or peripheral equipment (clamping table, robots, etc.). This is achieved by end-to-end digitization of the robot cell and enables complete simulation of the fettling process.

### Path of physical casting

In the previous section, we considered how optimal clamping and robot path planning for the separation of sprue systems is calculated using the digital twin. In the following, the path of the physical casting (figure 2) is described.

After the casting has been designed, the sandcasting mold is created using a 3D sand printer for industrial production. This enables the production of molds in batch size 1 and more complex geometries. After the casting, the employee clamps the casting using the calculated optimum clamping position based on the digital twin calculation and initiates the fettling process. During the process, small position errors are recorded and used for automated compensation of path planning to ensure accuracy. The sprue system is removed from the casting and is ready for further manufacturing.

### Results

This work shows possibilities to calculate an optimal clamping of arbitrary castings and the requirements of an automatically generated tool-path for a robotic sprue system remover only using the digital twin and without the know-how of a robotics specialist. Furthermore the effort to create a valid path will be significantly reduced. In addition, it enables the user to carry out lot size 1 path planning for automated fettling through a familiar CAD programming interface.

### Acknowledgments

I would like to express my deep gratitude to Professor Dr. Roland Anderegg and Max Edelmann, my research supervisors, for their patient guidance and enthusiastic encouragement.

I would also like to extend my thanks to the technicians of the laboratory of the Institute of Automation [1] and Christenguss AG [2] for their help in offering me the resources in running the program.

This Master Thesis was carried out within a research and development project of Christenguss AG in collaboration with University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland and granted by Swiss Commission of Technology and Innovation CTI [3].

### References

- [1] Institute of Automation, FHNW (29.05.2018). <https://www.fhnw.ch/ia>
- [2] Christenguss AG (29.05.2018). Company Homepage <http://www.christenguss.ch/>
- [3] CTI (29.05.2018). <https://www.sareco.org/institution/cti-commission-for-technology-and-innovation/>

### Project team

Roland Anderegg, Advisor, [roland.anderegg@fhnw.ch](mailto:roland.anderegg@fhnw.ch)  
 Max Edelmann, Advisor, [max.edelmann@fhnw.ch](mailto:max.edelmann@fhnw.ch)  
 Matthias Füglister, Master's student, [matthias.fueglistner@fhnw.ch](mailto:matthias.fueglistner@fhnw.ch)

### Industry Partner

Christenguss AG  
 Florian Christen  
[f.christen@christenguss.ch](mailto:f.christen@christenguss.ch)

# Kaffee-Mobil

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie des Hightech Zentrums Aargau (HTZ) wird die Umsetzung eines Kaffee-Mobils geprüft. Dieses soll einen dezentralen Kaffeeauschank in Spitälern und Heimen ermöglichen.

## Hannes Amport

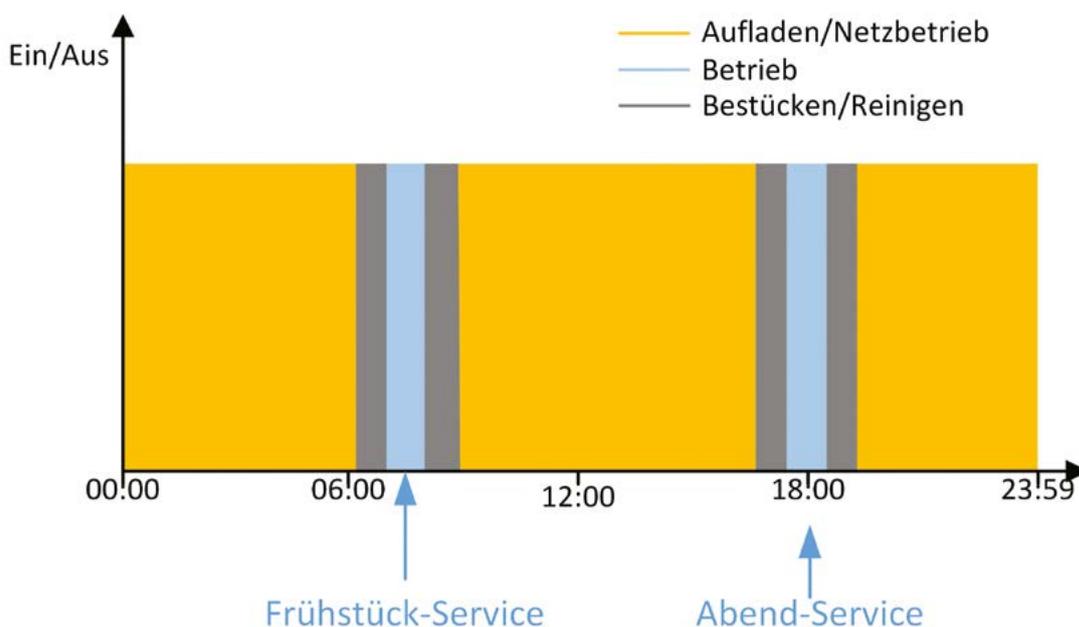


Abbildung 1: typischer Tagesablauf für den Kaffeewagen mit einem Frühstück- und Abend-Service

### Ausgangslage

In Spitälern und Heimen werden täglich tausende von Mahlzeiten serviert. Die Ansprüche der Patienten oder der Bewohner an die Qualität dieser Versorgung steigen. Beim Frühstück und für Zwischenmahlzeiten wollen die Institutionen ihren Gästen individuelle, frisch zubereitete und qualitativ hochstehende Speisen und Getränke anbieten. Ein Schlüsselement dabei ist der Kaffeeauschank. Bis anhin wird Kaffee häufig als Filterkaffee in Warmhaltegebinden verteilt. Im besseren Fall steht dem Servicepersonal eine zentrale Kaffeemaschine zur Verfügung. Diese Lösung ist aber eine logistische und organisatorische Herausforderung und mit grossem Aufwand verbunden. Eine Innovation ist die individuelle Frühstücksversorgung mit einer High-Tech Kaffeemaschine, die alle Features für eine umfassende Bedienung (Frühstücks- und Zwischenmahlzeitutensilien) zulässt und mobil von Patient zu Patient bewegt werden kann.

### Analyse des Einsatzzwecks

Der Servicewagen wird für einen gewöhnlichen Tagesablauf des Hotellerie Betriebes in einem Spital ausgelegt. In der Ab-

bildung 1 wird ein vereinfachter Tagesablauf für den Kaffeewagen dargestellt. Jeweils am Morgen und am Abend findet ein Service statt (blaue Balken). Immer vor und nach einem Service wird der Wagen bestückt bzw. gereinigt (graue Balken). Ist der Wagen nicht im Einsatz, kann beispielsweise der Energiespeicher wieder aufgeladen werden.

### Messtechnische Analyse

Um die Dimensionierungsberechnungen durchführen zu können, wurde zuerst die elektrische Leistungsaufnahme der vorgesehenen Kaffeemaschine ermittelt. Kenntnisse über die aufgenommene Leistung sind relevant für die Auslegung des Energiespeichers. Damit die Leistungsaufnahme ermittelt werden kann, wurde an der FHNW ein Messaufbau mit der vorgesehenen Kaffeemaschine errichtet. Die entsprechende Kaffeemaschine ist von einem Partner aus der Industrie zur Verfügung gestellt worden. Mit Hilfe des Messaufbaus konnten die Leistungen für unterschiedliche Nachfragen an Kaffee, Espresso, Cappuccino, usw. ermittelt werden. Zu diesem Zweck werden verschiedene Testsequenzen definiert und anschliessend durchgeführt. In der Abbildung 2 werden aufge-

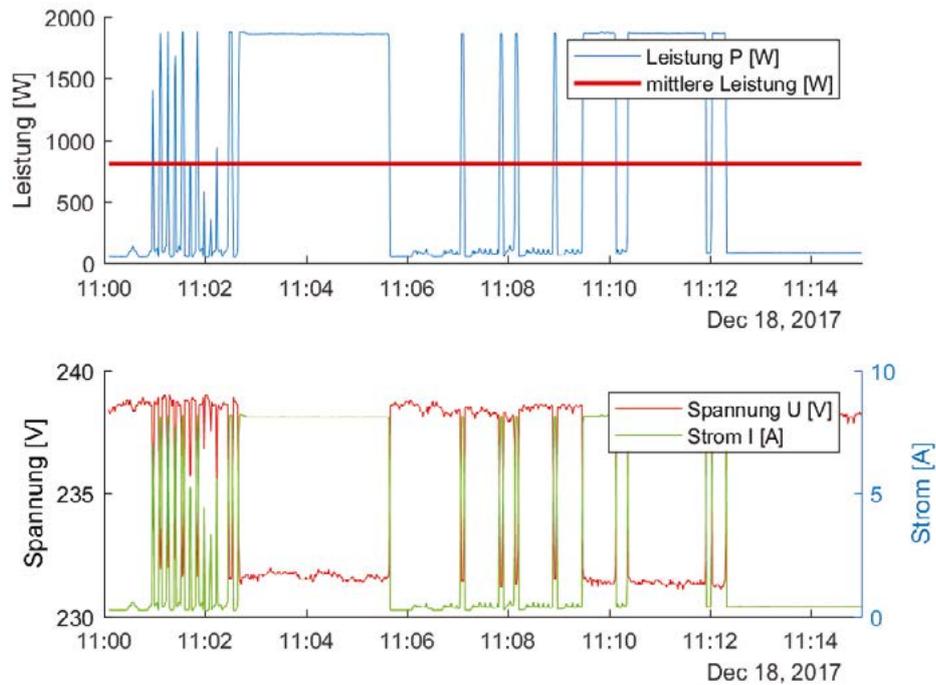


Abbildung 2: Messung der Leistungsaufnahme für eine Testsequenz

nommene elektrische Leistung, mittlere Leistung, Spannung und elektrischer Strom für eine Testsequenz gezeigt. Ziel einer solchen Sequenz ist es, Kennwerte wie beispielsweise einen Referenzwert für die maximale Last während eines Service zu erhalten.

### Dimensionierungsberechnungen

Die durchgeführten Messungen für verschiedene Testsequenzen und der definierte Use-Case dienen als Spezifikation für die Energieversorgung des Kaffee-Mobils. Das Kaffee-Mobil muss über einen Energiespeicher mit einer hohen Energie- und Leistungsdichte und einer möglichst langen Lebensdauer verfügen. Es gilt also, die Kapazität so auszulegen, dass der tägliche Betrieb problemlos machbar ist und eine minimale Lebensdauer eingehalten werden kann. Dazu bieten sich beispielsweise Lithium-Ionen-Akkus an. Relevant für die Dimensionierung sind die Kenndaten der einzelnen Komponenten.

Gezeigt wird in der Abbildung 3 die Kapazität eines Li-Ionen Akkumulators in Abhängigkeit von der Anzahl Ladungszyklen und der Entladetiefe (DOD). Zu sehen ist, dass mit zunehmender Anzahl Zyklen die Kapazität der Batterie abnimmt und bei einer Restkapazität von 80 % aus Sicherheitsgründen das Lebensende der Batterie erreicht ist.

### Fazit

Die durchgeführte Arbeit zeigt, dass die Umsetzung eines Kaffee-Mobils unter Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen machbar ist. Dank der messtechnischen Analyse konnten die notwendigen Anforderungen an die Energiespeicherung definiert werden und in Kombination mit den Kennlinien und Kenndaten ergibt sich ein Dimensionierungsvorschlag.

### Projektteam

Prof. Dr. David Zogg, Dozent für Regeltechnik, Projektleiter, david.zogg@fhnw.ch

Hannes Amport, BSc, Masterstudent MSE und Wissenschaftlicher Assistent, hannes.amport@fhnw.ch

### Auftraggeber

Bernhard Isenschmid, Technologie- und Innovationsexperte, Hightech Zentrum Aargau AG

Reto Burri, Geschäftsleitung, Repa AG

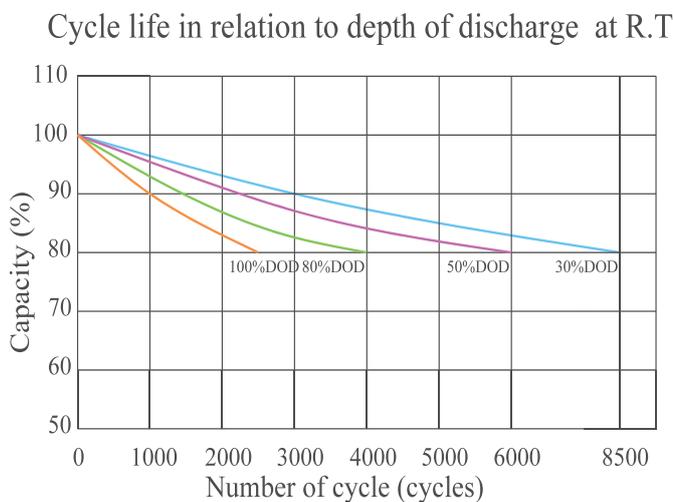


Abbildung 3: Lebensdauer eines Akkus in Abhängigkeit von der Entladetiefe



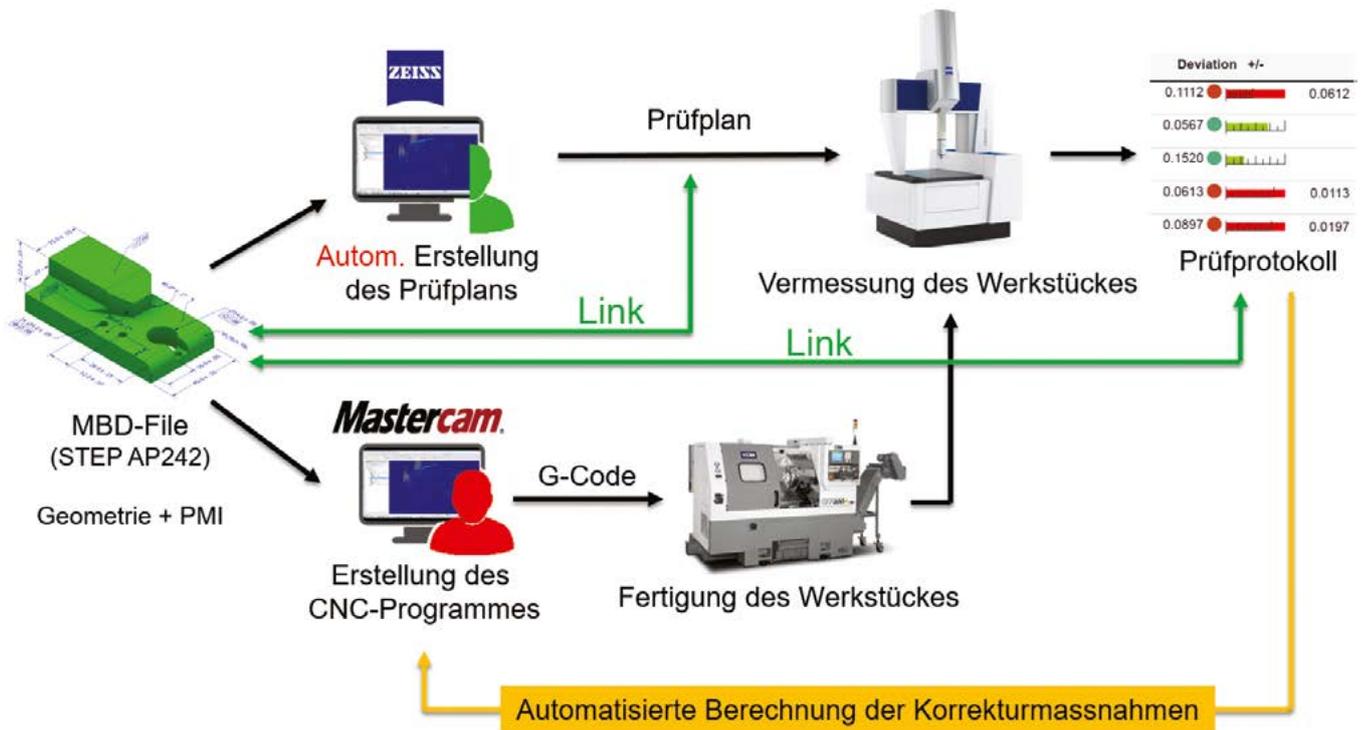


Abbildung 2: Digitale Verlinkung innerhalb des Fertigungsprozesses basierend auf MBD-Files

### Modellbasierte mechanische Fertigung

Eine modellbasierte mechanische Fertigung basiert, wie der Name bereits verrät, auf einem virtuellen Modell. Dazu wird zum Beispiel ein MBD-File wie das standardisierte und einfach lesbare STEP AP242 Format verwendet, welches bereits seit 2015 existiert. Die dadurch gewonnene Verlinkung zwischen Toleranzangaben und der Geometrie eines Werkstückes führt dazu, dass durch den gesamten Fertigungsprozess eindeutige Bezeichnungen für die 3D-Formaspekte und die angebrachten PMIs (Product Manufacturing Informations) verwendet werden. Dadurch werden digitale Abhängigkeiten zwischen dem MBD-File, dem Prüfplan und

dem Messprotokoll (siehe Abbildung 2) erschaffen, wodurch für nicht eingehaltene Toleranzbedingungen optimale Korrekturmaßnahmen berechnet werden können.

Prüfmasse, welche ausserhalb der zugelassenen Toleranz liegen, müssen zur Berechnung einer optimalen Korrektur erkannt, analysiert und verarbeitet werden. Zudem soll geprüft werden, ob auch tatsächlich die vom Kunden erforderten Prüfmasse eines Werkstückes gemessen wurden oder ob es unerwünschte Abweichungen der geometrischen Lage oder dem Toleranzwert gibt. Diese Funktionen sowie die Visualisierung der optimalen Korrekturmaßnahmen werden

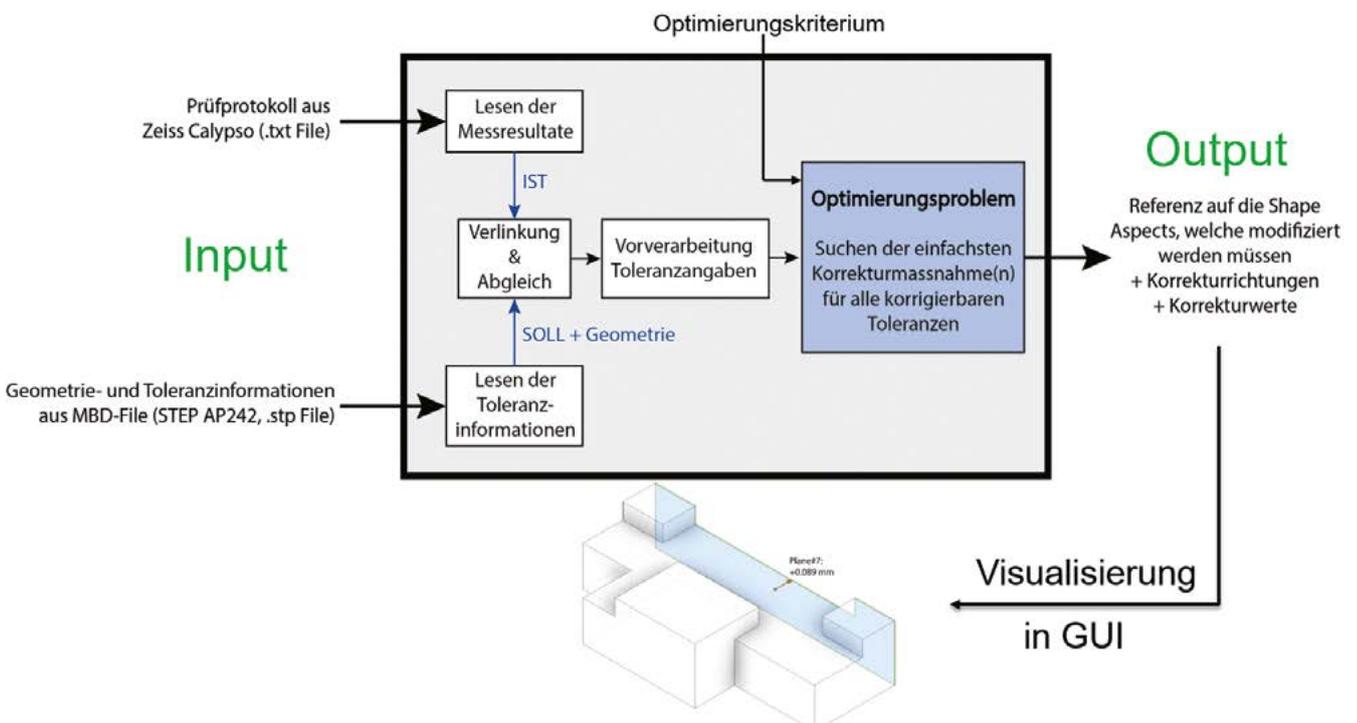


Abbildung 3: Aufbau der Software zu Berechnung der optimalen Korrekturmaßnahmen

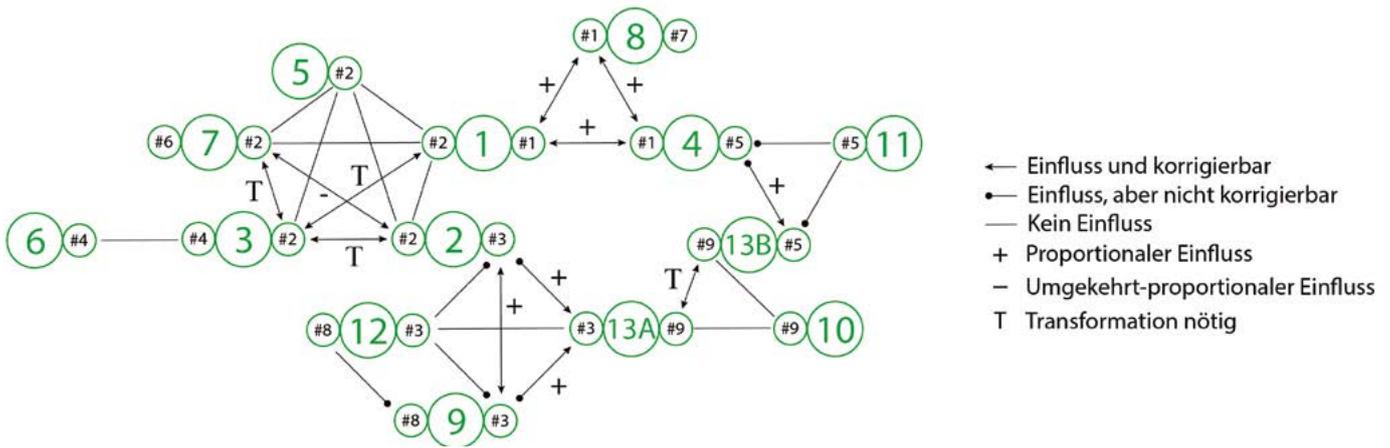


Abbildung 4: Darstellung aller Toleranzbedingungen in Form eines Netzwerkes

in einem neuartigen «Korrektur-Tool» umgesetzt, welches gemäss Abbildung 3 aufgebaut wird.

### Netzwerk aller Toleranzbedingungen

Zur Berechnung der optimalen Korrekturmassnahmen müssen alle angebrachten Toleranzbedingungen eines Werkstückes in einer Vorverarbeitung in eine einheitliche Form gebracht werden, um anschliessend dessen Beziehungen untereinander z.B. in Form eines Netzwerkes, wie dies in Abbildung 4 dargestellt wurde, zu beschreiben. In diesem Netzwerk wurden die Toleranzangaben selbst mit gross umkreisten Zahlen und die Formaspekte, zwischen welchen die Toleranzbedingungen gelten, mit einer Hash-Nummer indexiert. Im Netzwerk aus Abb. 4 bedeutet dies zum Beispiel, dass zwischen den Flächen #1 und #7 die Toleranzbedingung 8 gilt. Die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Toleranzen und den Nachbartoleranzen werden mit entsprechenden Verbindungspfeilen repräsentiert.

Auf Grundlage dieser neuen Datenstruktur kann nun ein speziell entwickeltes Optimierungsverfahren angewendet werden, welches solange nach einer Lösung sucht, bis die optimalen Korrekturmassnahmen gefunden wurden, bei welchen alle geforderten Toleranzangaben erfüllt werden. Diese Massnahmen können nun dem Polymechniker als Modifikationsvorschlag wie zum Beispiel gemäss Abbildung 1 angezeigt werden. Die Korrektur selbst kann dabei nach zwei verschiedenen Strategien erfolgen: Entweder wird die 3D-Werkstückgeometrie gemäss den berechneten Massnahmen verändert, wodurch sich der daraus resultierende Werkzeugpfad einer Maschine automatisch anpasst, oder die Korrektur erfolgt direkt durch einen entsprechenden Offset welcher dem Werkzeugpfad selbst hinzugefügt wird. Da, grundsätzlich immer nach derselben Strategie vorgegangen wird, ist durch die automatisierte Korrekturberechnung eine viel höhere Reproduzierbarkeit zu errei-

chen. Zudem führen die ausbleibenden Missverständnisse durch nicht konsistente Bezeichnungen zu wertvollen Zeitersparnissen im Fertigungsprozess.

### Ausblick

Der entwickelte Korrekturalgorithmus wird in einem nächsten Schritt als Hauptteil eines speziell zu entwickelnden Korrektur-Tools implementiert, welches in Zukunft den Polymechniker bei der Umsetzung von Korrekturmassnahmen unterstützen soll. Der Fokus liegt dabei grundsätzlich auf der Generierung von digitalen Links zwischen allen Fertigungs- und Prozessgrössen des Unternehmens, da dies die Grundlage einer effizienzsteigernden digitalen Produktion bildet.

### Industriepartner

FAES-PWR ESTECH AG  
 Andreas Kaufmann, Geschäftsleiter  
 Daniel Beeler, Produktionsleiter

### Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Projektleiter,  
 roland.anderegg@fhnw.ch  
 Daniel Treyer, MSc FHNW in Engineering, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand, daniel.treyer@fhnw.ch  
 Thomas Moser, BSc FHNW in Systemtechnik, wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent,  
 thomas.moser1@fhnw.ch

# MAS Automation Management

DIE Weiterbildung für angehende Projektleiter von Automatisierungsprojekten und Ingenieuren, die ihr Fachwissen aktualisieren möchten.

Das Studium wurde inhaltlich überarbeitet und auf die heutigen Herausforderungen hin aktualisiert. Die automatisierungstechnischen Grundlagen für Industrie 4.0 wurden erweitert durch die neuen Module 'Machine learning', 'I4.0' und 'Modellierung, Simulation und virtuelle Anlagen'. Bestehende Module wie 'Vertikale Integration', OPC mit OPC-UA und Robotik wurden an die neuen Herausforderungen angepasst.

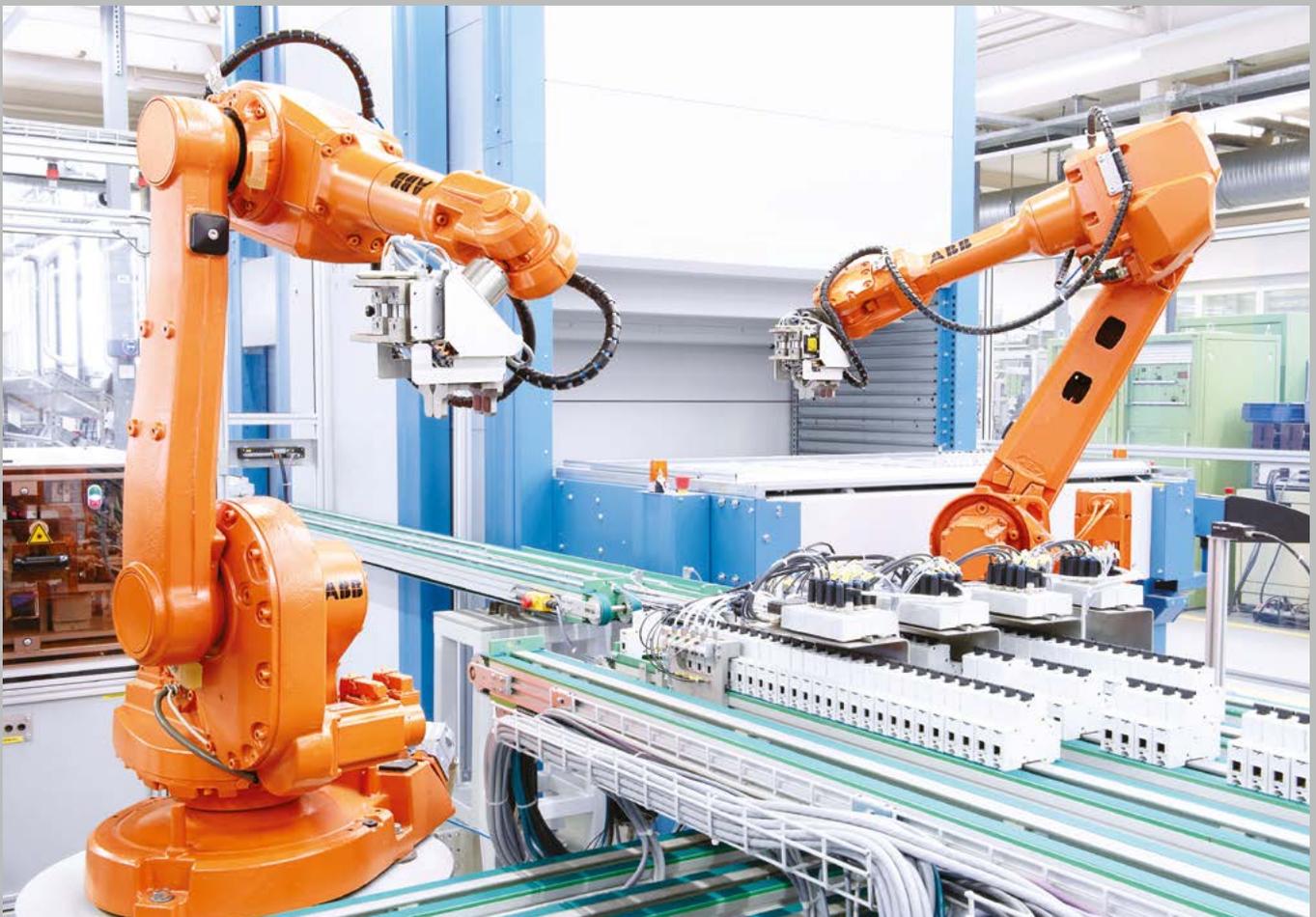
Das Studium wird in Kooperation mit verschiedenen Fachhochschulen angeboten.

**Start: 2. September 2019**

## Kontakt

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

Besuchen Sie unsere Infoveranstaltung – wir informieren Sie gerne:  
Montag, 26. Juni 2019, 18.15 Uhr in Windisch  
Mittwoch, 26. August 2019, 18.15 Uhr in Windisch  
[www.fhnw.ch/mas-automation](http://www.fhnw.ch/mas-automation)



# Online-Diagnose von Abwasserreinigungsanlagen

Mit den aufkommenden Anforderungen an die Effizienz und Qualität von Produkten nimmt der Wunsch nach Methoden zur Überwachung von Prozessen und automatischen Detektion von Fehlern zu. Deshalb wird die Machbarkeit einer Diagnose-Software zur zustandsbasierten Wartung und Betriebsoptimierung von Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) geprüft.

**Hannes Amport**

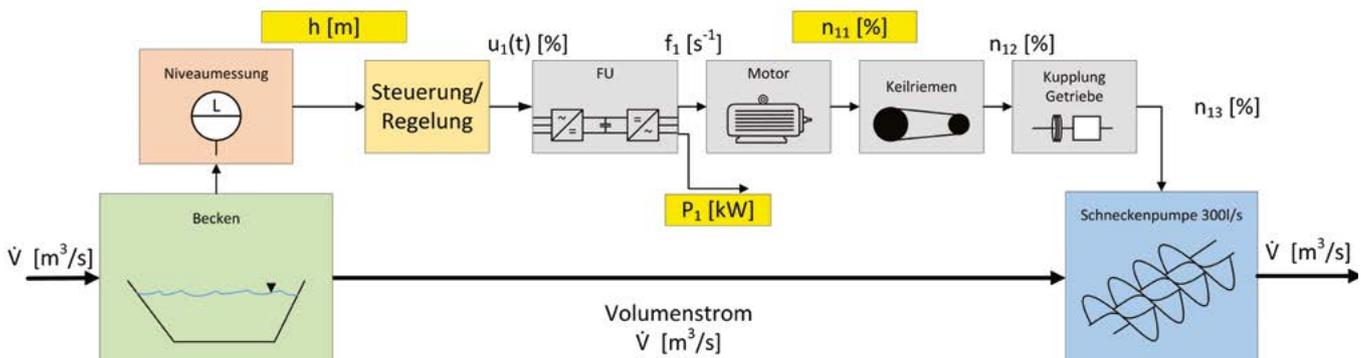


Abbildung 1: Blockschaltbild des Systems Schneckenpumpe gemäss dem Beispielobjekt

## Ausgangslage

Durch die Vielzahl der geregelten oder gesteuerten Teilprozesse auf einer ARA fallen zahlreiche Messdaten an. Diese Messwerte werden bis anhin zur Prozesskontrolle archiviert, aufbereitet und visualisiert. Die Überwachung des Prozesses erfolgt anschliessend manuell durch den Betreiber einer ARA. Die neuen Diagnose-Algorithmen sollen eine automatische Fehlersuche ermöglichen und die Effizienz des Prozesses massiv steigern. Die in den Messwerten enthaltenen Informationen werden automatisch aufbereitet, sodass auf den aktuellen Zustand der einzelnen Komponenten bzw. der gesamten Anlage geschlossen werden kann. Die softwarebasierte Überwachung hilft, Ausfälle zu vermeiden und Wartungsarbeiten optimal zu planen.

Eine mögliche Umsetzung einer für die Überwachung notwendigen Diagnose-Software wird nun geprüft. Zu diesem Zweck wird in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner, der im Bereich der ARA Automatisierung tätig ist, und dem Hightech Zentrum Aargau eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Zur Entwicklung der Algorithmen werden Prozessdaten eines Pumpwerks einer ARA verwendet. Ein Pumpwerk hebt das Abwasser aus der Kanalisation an die Oberfläche.

Die Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild einer Schneckenpumpe eines Pumpwerks. Geregelt wird das Niveau

bzw. der Wasserstand im Zulaufbecken. Die Regelung gibt aufgrund einer Niveaumessung die Drehzahl der Schneckenpumpe vor, um das gewünschte Sollniveau zu erreichen. Eine der Herausforderungen bei der Entwicklung der Diagnose-Software ist, dass nur sehr wenige Messgrössen zur Überwachung zur Verfügung stehen. Im Fall der Schneckenpumpen sind es nur die drei gelb markierten Messgrössen in der Abbildung 1.

## Entwicklung Diagnose-Algorithmus

Für die Fehlerdiagnose werden modellbasierte Methoden, basierend auf Kennlinien, kombiniert mit statistischen Methoden des Data Mining angewendet. So wird während einer Lernphase, auch Teaching genannt, aus den Archivdaten des realen Systems ein Modell entsprechend der Kennlinie einer Komponente erstellt. Dieses Modell wird im Anschluss fortlaufend mit den aktuellen Prozessdaten verglichen. Um dies zu ermöglichen, müssen die Daten aufbereitet bzw. vorverarbeitet werden. Die Datenvorverarbeitung ist dabei ein Kernelement der Fehler-Detektion und Fehler-Diagnose. Die aufbereiteten Daten werden reduziert, d.h. die Messdaten werden z.B. über eine Periode von einer Stunde gemittelt. Die reduzierten Daten können anschliessend mit einer Kontrollkarte überwacht werden. Die Überwachung ergibt einen Zustand einer gewünschten Komponente. Zum Schluss erfolgt die Visualisierung des

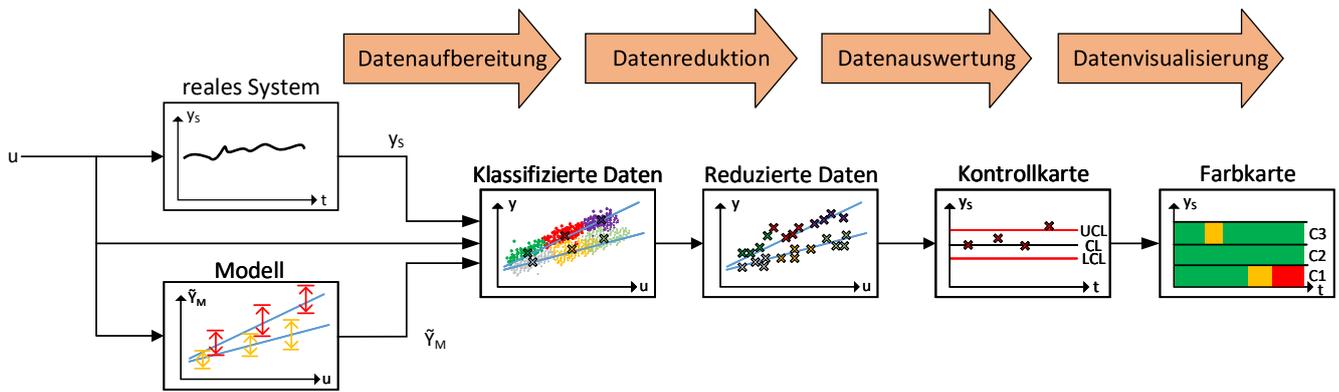


Abbildung 2: Einsatz eines Kennlinien-Modell-basierten Ansatzes zur Fehlerdetektion

Zustandes. Dies kann z.B. mit einer Farbkarte erfolgen. Dabei wird der Zustand mit Ampelfarben codiert und über die Zeit dargestellt. Eine Visualisierung der Methodik befindet sich in der Abbildung 2. Zu sehen ist auf der linken Seite der Vergleich zwischen dem realen System und einem zuvor eingelernten Modell des Nominalfalles. Im Anschluss erfolgen die Aufbereitungsschritte bis zur Visualisierung mittels Farbkarten ganz rechts.

Ein Beispiel einer Kontrollkarte, für das Residuum zwischen dem realen System und dem eingelernten Modell, und der zugehörigen Farbkarte ist in der Abbildung 3 gezeigt. Grund für die Abweichungen ab dem 21. August in der Abbildung 3 ist ein Lagerschaden an der Schneckenpumpe. Deutlich erkennbar ist die Veränderung des Zustandes vom grünen Bereich zu einem roten, welcher den Fehlerfall anzeigt. Der Schaden an der Pumpe war erheblich und mit Hilfe einer entsprechenden Überwachungssoftware kann die Schadensumme vermindert oder mindestens minimiert werden.

### Fazit

Eine Vermeidung von Ausfällen dank der Früherkennung ist möglich. Dank eines Top-Down Ansatzes kann mit Hilfe von Farbkarten ein rascher Überblick über die gesamte Anlage erhalten werden. Mit entsprechender Kondensation der Information als Farbkarte werden Fehlersuche und Prozessüberwachung dank visuellen Hilfsmitteln erleichtert.

Schliesslich stellt die Analyse einer grossen Menge an Rohdaten auch für einen Menschen eine Schwierigkeit dar. Mit Hilfe der erarbeiteten Analyse und Visualisierungsmöglichkeiten gelingt es, schnell einen vertieften Überblick über den Zustand einer Anlage zu erhalten.

### Referenzen

- [1] R. Isermann, Fault-Diagnosis Systems, An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance, Berlin: Springer, 2006.
- [2] H. Amport, „Online-Diagnose von Abwasserreinigungsanlagen zur zustandsbasierten Wartung und Betriebsoptimierung,“ FHNW, 5210 Windisch, 2018.
- [3] S. Thierer, „Diagnosesystem für Abwasserreinigungsanlagen,“ FHNW, 5200 Brugg, 2018.

### Auftraggeber

Reto Steinemann, Leiter Entwicklung Chestonag Automation AG  
Bernhard Isenschmid, Technologie- und Innovationsexperte, Hightech Zentrum Aargau AG

### Projektteam

Prof. Dr. David Zogg, Dozent für Regeltechnik, Projektleiter, david.zogg@fhnw.ch  
Hannes Amport, Bsc. Energie- und Umwelttechnik, wissenschaftlicher Assistent, hannes.amport@fhnw.ch  
Steffen Thierer, Student Systemtechnik, Diplomand

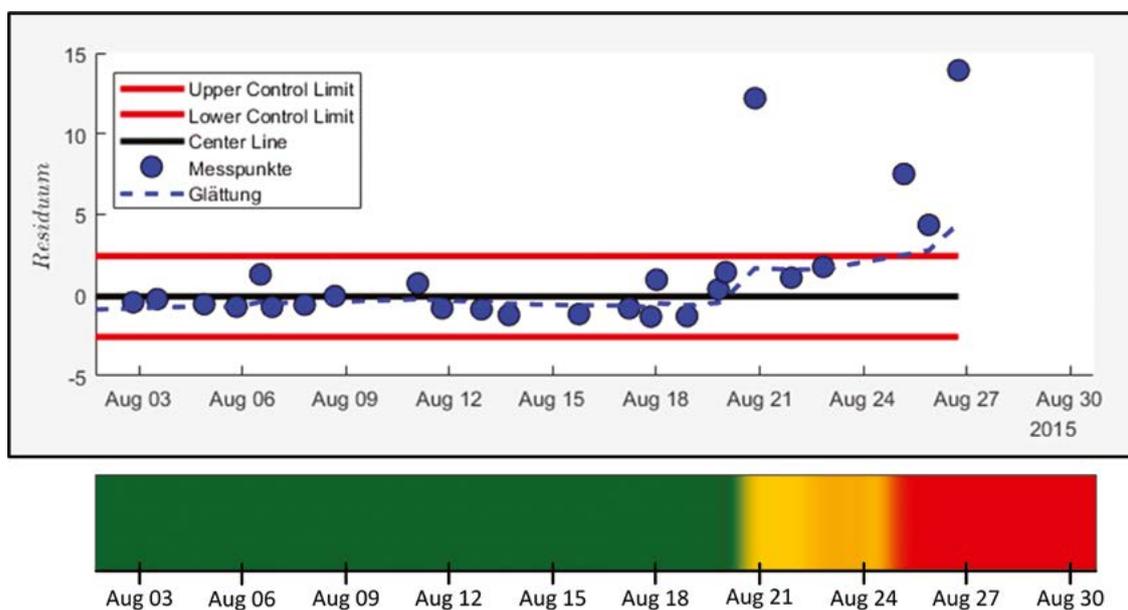


Abbildung 3: Auswertung mit Hilfe einer Kontrollkarte

# Optische Positionsbestimmung

Im Rahmen eines KTI Innovationschecks wurde für die Firma ELMOTEC Antriebstechnik AG ein Konzept zur Positions- und Qualitätsbestimmung verschleissbehafteter Werkzeuge erstellt. Damit sollen beispielsweise Lötspitzen von Roboter-lötmaschinen automatisch vermessen werden können.

**Pascal Schleuniger**

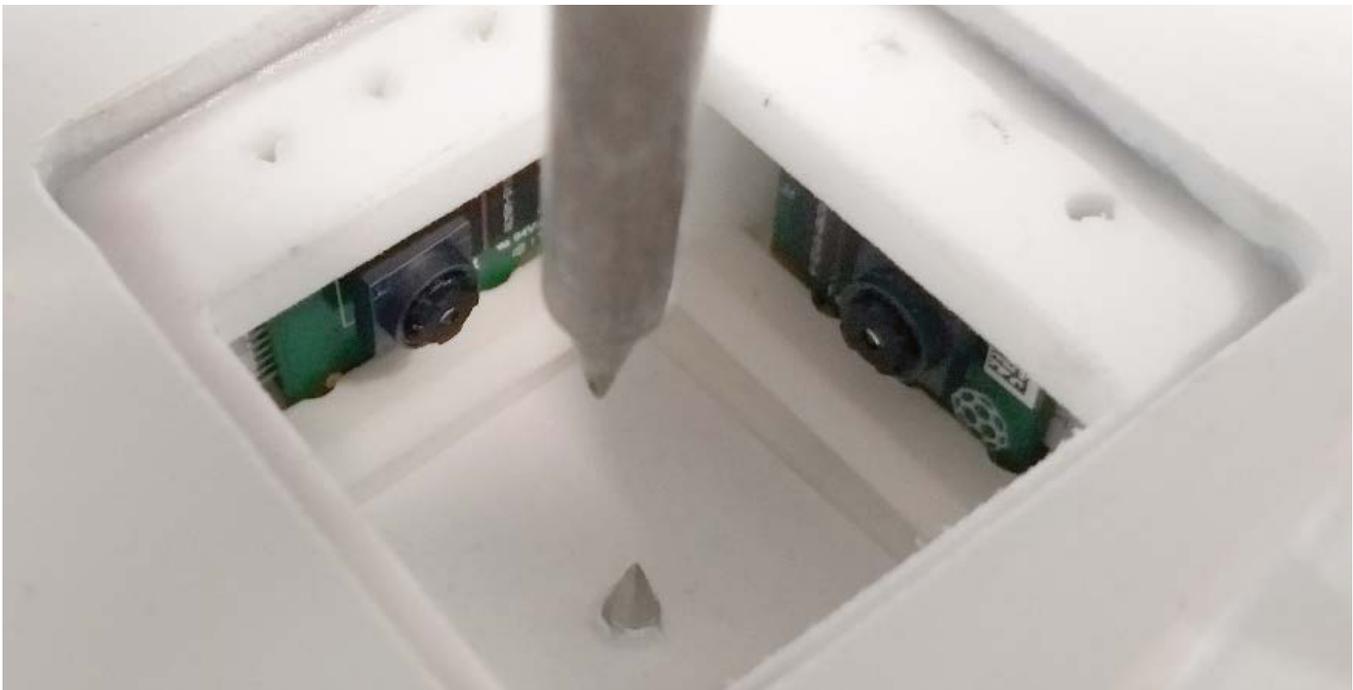


Abbildung 1: Testaufbau zur Positions- und Qualitätsbestimmung verschleissbehafteter Werkzeuge

## **Ausgangslage**

Beim Roboterlöten werden Prozesszyklen im Sekundenbereich erreicht, weshalb sich Lötspitzen stark abnutzen und teils täglich ersetzt werden müssen. Die Oberfläche und die Position der Lötspitze beeinträchtigt die Qualität der Lötstellen. Deshalb ist es notwendig in regelmässigen Abständen die Lötspitze manuell zu prüfen und zu justieren. Dieser aufwendige und fehleranfällige Prozess soll automatisiert werden. Auf dem Markt verfügbare Messtechnik bewegt sich preislich im Bereich einer kompletten Lötanlage und ist daher nicht einsetzbar. Es musste deshalb berücksichtigt werden, dass die Messeinrichtung ausschliesslich mit low-cost Komponenten realisiert werden kann.

## **Funktionsmuster**

Das Konzept zur Positions- und Qualitätsbestimmung verschleissbehafteter Werkzeuge baut auf zwei handelsüblichen low-cost Kameramodulen mit 8 MP CMOS Sensoren auf. Abbildung 1 zeigt einen Versuchsaufbau mit 2 Kameramodulen, welche in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet sind und auf einen Referenzdorn fokussiert sind.

Die beiden Kameramodule sind mittels MIPI Camera Serial Interface mit einem FPGA verbunden. Die Daten der beiden Kameras können parallel erfasst und in Echtzeit vorverarbeitet werden, bevor sie über den Microcontroller an ein übergeordnetes System weitergeleitet werden, welches mittels Bildbearbeitungsalgorithmen die räumliche Position des Werkzeuges sowie die Oberflächeneigenschaften erfassen soll.

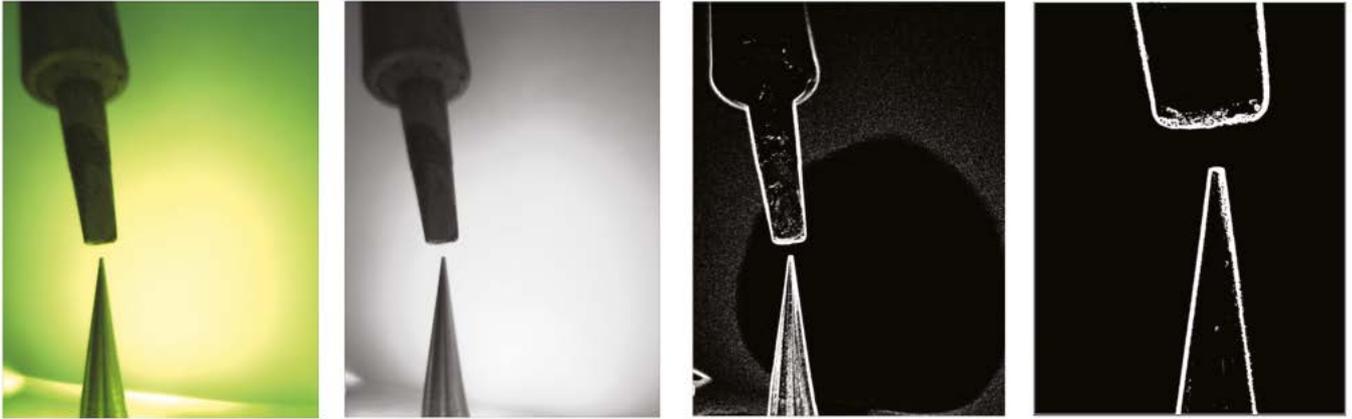


Abbildung 2: Aufbereitete Bilder einer Lötspitze

### Bildverarbeitung

Die Kamerabilder müssen vor dem Auswerten aufbereitet werden. Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 2 ersichtlich. Die rohen Daten werden zuerst in ein Graustufenbild gewandelt. Danach können Kantendetektion und eine Filterung durchgeführt werden, um die Lötspitze und den Referenzdorn zu erfassen. Diese Bildbearbeitungsschritte lassen sich in Echtzeit im FPGA realisieren, damit kann die Datenmenge, die anschliessend zum übergeordneten System übertragen werden muss, stark reduziert werden. Soll die Oberfläche der Lötspitze analysiert werden, können die ungefilterten Daten an das übergeordnete System übertragen werden.

Auf dem übergeordneten System kann anschliessend die Distanz zwischen Lötspitze zum Referenzdorn bestimmt werden. Abbildung 3 zeigt wie mit OpenCV die Lötspitze und der Referenzdorn bestimmt werden und anschliessend deren Abstand berechnet wird.

### Fazit

Mit dem einfachen Versuchsaufbau konnte die Position der Lötspitze zuverlässig innerhalb einer Sekunde auf 0.02mm detektiert werden. Der Nachteil der optischen low-cost Komponenten ist, dass die notwendige Tiefenschärfe nur in einem sehr kleinen Bereich eingestellt werden kann. Für die beschriebene Anwendung, bei welcher nur sehr kleine Positionsabweichungen korrigiert werden müssen, ist dies ausreichend.

### Auftraggeber

ELMOTEC Antriebstechnik AG

### Projektteam

Prof. Dr. Pascal Schleuniger, Projektleiter,  
 pascal.schleuniger@fhnw.ch  
 Matthias Meier  
 René Locher, BSc EIT  
 Martin Moser, BSc EIT

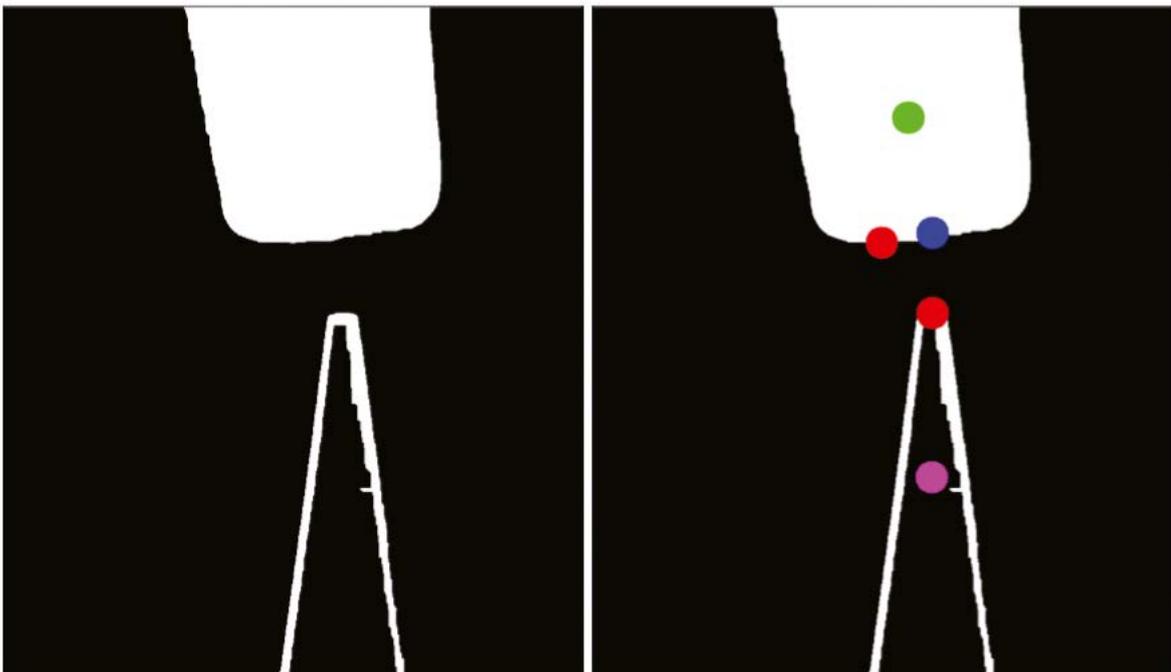


Abbildung 3: Bestimmung der Position der Lötspitze

# Robotergerüstetes Kappentfernen vor AOI Prozess

Die Firma Iftest AG verfügt über hochautomatisierte Elektronik-Fertigungstechnologien. Nach dem SMT-Prozess (engl. surface mounted technology, dt. Oberflächenmontagetechnik) ist die Bestückungshilfe, eine Kappe, überflüssig und im darauffolgenden AOI-Prozess (engl. automatic optical inspection, dt. automatische optische Inspektion) störend. Im Rahmen der vom Institut für Automation betreuten Bachelorarbeit ist eine Roboterzelle zur automatischen Entfernung dieser Kappen entwickelt und in Betrieb genommen worden.

**Christoph Doggwiler**



Abbildung 1: In die AOI-Linie integrierte Roboterzelle mit Bandmodul als Basis

## **Ausgangslage und Zielsetzung**

Die Kappen werden in der Produktion von Hand entfernt und verursachen jährliche Kosten im mittleren fünfstelligen Bereich. Beim manuellen Entfernen können Kappen übersehen werden oder die bestückten Printplatten beschädigen. Die Entfernung muss vor dem automatischen optischen Inspektionsprozess (AOI) stattfinden, da die Kappen die Lötstellen verdecken und somit die Qualitätskontrolle stören.

Als besondere Herausforderung können Grösse, Geometrie, Festigkeit des Sitzes und das verwendete Material der Kappentypen deutlich variieren (Tabelle 1). Auf ei-

ner bestückten Leiterplatte können mehrere verschiedene Kappentypen als Bestückungshilfe eingesetzt werden, wodurch die Anforderungen an den Greifprozess zum Entfernen zusätzlich steigen. Die X- und Y-Position der Kappe sowie die Rotation  $U$  sind vom automatisierten Bestückungsprozess her bekannt und sind als digitale Information verfügbar.

In Zusammenarbeit mit der Firma Iftest ist eine flexible Roboterzelle zu entwickeln, die die Kappen automatisch entfernen und Datamatrix-Codes (DM-Code) von der bestückten Leiterplatte einlesen kann. Die Add-On Lösung wird als eigenständiges Modul konzeptioniert und direkt

Grösse [mm]	5x5x3	9x10x1	10x6x5	5x3x3	3.5x3x2	6x6x3
Originalbild						
Ansicht von Oben						
Ansicht von der Seite						

Tabelle 1: Kappengeometrien (Auszug)

in die AOI-Linie integriert, wobei das zuvor integrierte Bandmodul als Basis der Zelle dient (Abbildung 1). Das Bandmodul leitet die PCB (engl. printed circuit board, dt. Leiterkarte, Platine) vom vorgängigen zum nachfolgenden Fertigungsmodul. Zur einfachen Bedienung sollte das System die Produktionsdaten automatisch aus einer Datenbank entnehmen.

**Eingesetzte Komponenten**

Durch methodisches Requirements Engineering werden die Systemkomponenten evaluiert. Zur Entfernung der Kappen wird ein deckenmontierter Scararoboter eingesetzt. Dieser überzeugt durch seinen perfekt passenden Arbeitsbereich. Als Endeffektor an der Z-Achse wird ein elektrischer Greifer eingesetzt. Im Gegensatz zu einem pneumatischen Greifer können die elektrisch angetriebenen Greifbacken auf eine bestimmte Position gefahren werden. Das ermöglicht, Fehlerzustände zu detektieren und den Fertigungsprozess zu optimieren falls bspw. eine Kappe bereits fehlt, womit die Lötstelle nicht unnötig beansprucht wird und Prozesszeiten reduziert werden können.

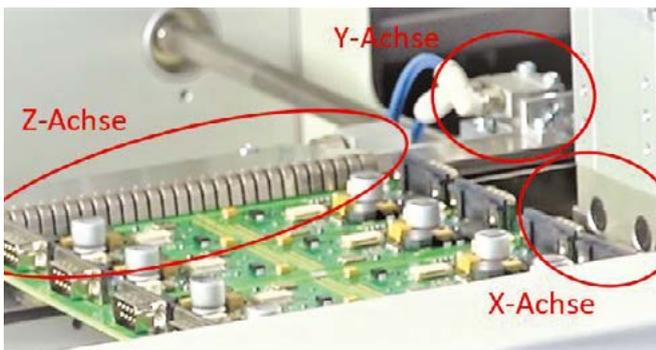


Abbildung 2: Ausrichten der Printplatte

**Prozessablauf**

Mithilfe eines Barcodescanners, der direkt am Greifer geplant ist, werden zuerst die Prozessauftragsnummer und die spezifische Typnummer der Leiterplatte eingelesen. Aus diesen Angaben kann das System automatisch die Produktionsdaten abrufen. Nach dem Starten der Anlage werden solange PCBs verarbeitet, bis der Prozess durch einen Mitarbeiter gestoppt wird.

Das Verarbeiten der Leiterplatten beginnt mit dem Ausrichten (Abbildung 2). Dabei muss die X-Koordinate (Förderrichtung des Bandmodules) jeder Leiterplatte kalibriert werden. Anschliessend folgt eine Bewegung mittels zwei Zylindern entlang einer Führung, um die Y-Achse

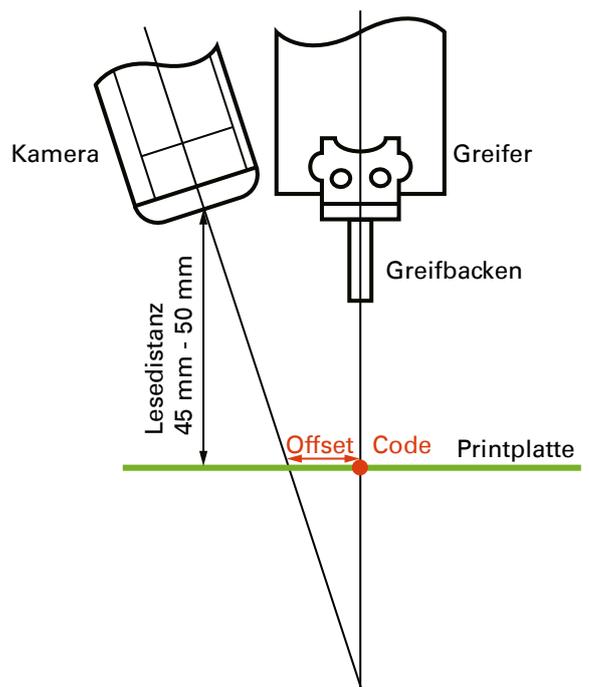


Abbildung 3: Offset DM-Reader und DM-Code 3x3 mm

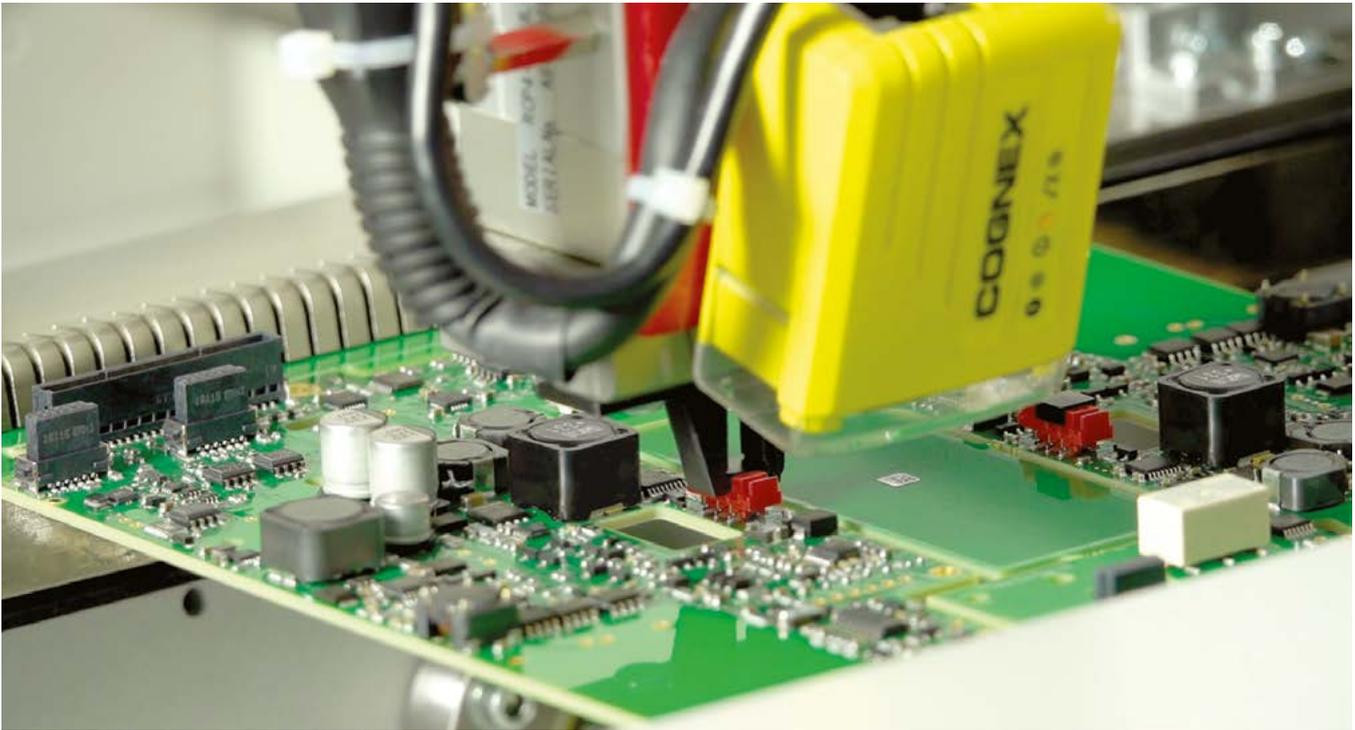


Abbildung 4: Automatische Kappenentfernung

auszurichten. Das Ausrichten und gleichzeitige Fixieren in der Z-Richtung übernimmt die vorhandene Klemmung des Bandmoduls.

Im Anschluss an das Ausrichten werden die DM-Codes eingelesen und die Kappen entfernt. Die Kamera ist in einem 15° Winkel direkt am Greifer montiert. Mit einer Arbeitsdistanz von 45-50 mm entsteht ein Offset zur Flucht der Z-Achse des Roboters (Abbildung 3). Die Kamera kann diesen Offset ausgleichen, sodass dem Roboter weiterhin die Mittelpunktswerte der DM-Codes übergeben werden können. Die eingelesenen Codes werden über eine Datenschnittstelle mit der Prozessauftragsnummer ausgegeben.

Für das Entfernen von Kappen müssen die Koordinaten vom bisherigen Bestückungsprozess mit zusätzlichen Informationen, wie die Höhe und die Kappenbreite, ergänzt werden. Anschließend liegt ein vollständiger Fertigungsablauf für das vollautomatische Entfernen der Kappen mit dem Roboter zur Verfügung. Die Anforderung der unterschiedlichen Kappengeometrien kann durch ein geschicktes Design der Greifbacken, in welcher sich die Kappen formschlüssig einfügen, erfüllt werden.

In umfangreichen Akzeptanz- und Funktionstest konnten direkt nach der erfolgreichen Inbetriebnahme die Kappentypen entfernt werden.

#### Software

Das HMI (Human Machine Interface) ist speziell auf die Bedürfnisse der Firma Iftest abgestimmt und mit Visual Basic entwickelt worden. Die übersichtlich gestaltete Oberfläche erlaubt es den Mitarbeitern, die Zelle intuitiv zu bedienen. Fehlerhafte Eingaben werden über Plausibi-

litätsprüfungen und weitere Massnahmen frühzeitig abgefangen. DM-Codes werden bei Fehlesungen mehrfach mit automatischen kleineren Positionsveränderungen zu erfassen versucht. Falls dieses Vorgehen misslingt, wird eine Meldung ausgegeben und der Code kann mit dem Barcode-Scanner manuell erfasst werden. So wird garantiert, dass jeder Code registriert wird. Nicht entfernte Kappen können durch das entwickelte Fertigungsmodul nicht bemerkt werden, die entsprechende Kontrolle ist Bestandteil des nachfolgenden AOI-Prozesses.

#### Fazit

Die in die Linie integrierte, modulare Fertigungszelle hat bewiesen, dass sie die gestellten Aufgaben erfüllt werden können. Die rentable Anzahl der Kappen ist von der Printplatte, respektive der Prüfgeschwindigkeit des AOI, abhängig. Für die häufig vorkommenden Printplatten mit weniger als zehn Kappen ist die Anlage sehr gut einsetzbar. In Tests hat sie eine fast 100% Erkennungsquote von DM-Codes erzielt und eine Entfernrate von rund 99% der Kappen. Im nächsten Schritt muss sich dieses Ergebnis in der Produktion widerspiegeln.

#### Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Betreuer,

roland.anderegg@fhnw.ch

Max Edelmänn, Betreuer, max.edelmann@fhnw.ch

Matthias Füglistner, Betreuer, matthias.fueglistner@fhnw.ch

Christoph Doggwiler, Bachelorstudent Systemtechnik,

christoph.doggwiler@students.fhnw.ch

#### Auftraggeber

Wolfram Ebner, Leitung Prozesstechnik und

Lean Management, Iftest AG, wolfram.ebener@iftest.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  
Markus Krack, Leiter FITT (Forschung, Innovation, Technologietransfer)  
markus.krack@fhnw.ch, T + 41 56 202 78 79  
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

# Visualisierung von Fertigungsprozessen

Heutzutage werden anspruchsvolle Anforderungen an Fertigungsbetriebe gestellt. Moderne Unternehmen bieten eine breite Produktpalette zu kurzen Lieferzeiten an. Gleichzeitig werden Rohmaterialien just in time angeliefert, um Kosten zu optimieren. Im vorliegenden Projekt wurde eine Visualisierung entwickelt, welche für verschiedene Benutzergruppen Fertigungsaufträge visualisiert und auf kritische Aufträge hinweist.

**Silvano Germann**

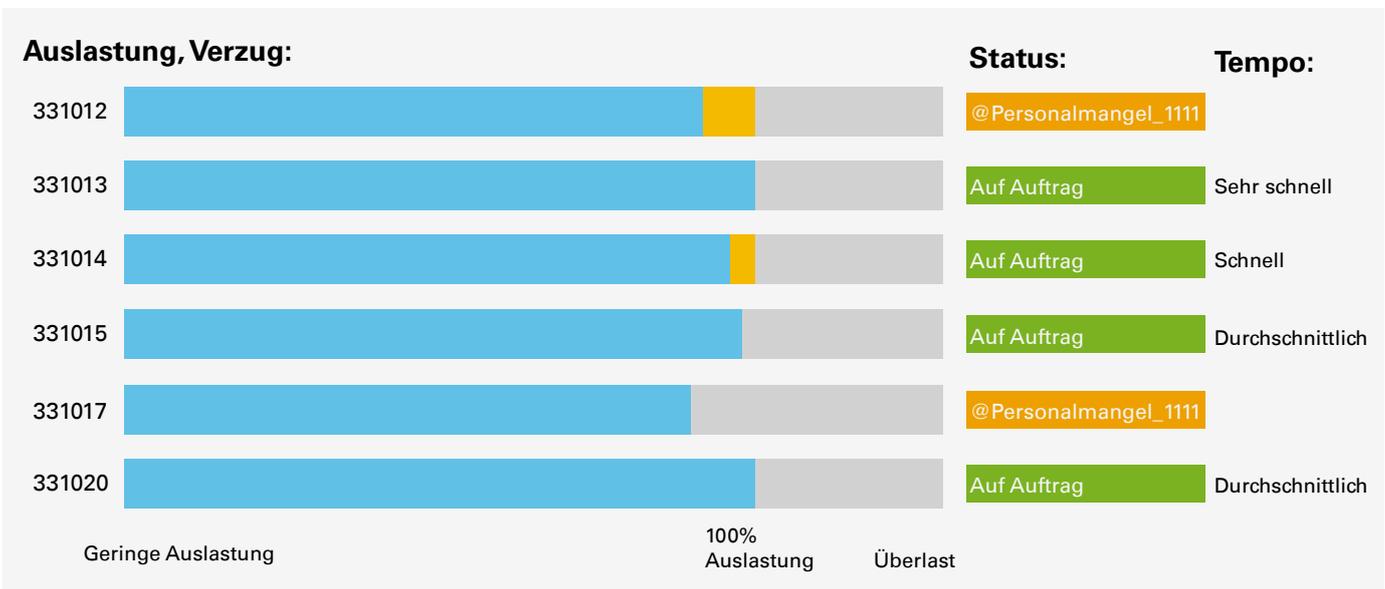


Abbildung 1: Versuchsanlage der zweiten Generation

## Problematik

Beim Auftraggeber handelt es sich um ein traditionelles und innovatives Schweizer Unternehmen der Werkzeugbranche. Die Branche stellt nicht nur hohe Anforderungen an die Produkte, sondern auch an die Bestell- und Fertigungsprozesse. So werden zehntausende Artikel auf Bestellung gefertigt. Um kurze Lieferzeiten garantieren zu können, müssen Ressourcenplanung, Verfügbarkeit von Fertigungsmaschinen, Personal und Rohmaterial sorgfältig und flexibel erfolgen bzw. geplant werden. So verfügt die Firma bereits über etliche Planungs-, Produkt- und Fertigungsdaten. Es gibt auch diverse Planungsansichten im bestehenden SAP System, doch liegt die Schwierigkeit in der Zusammenfassung von Daten, Markierung spezieller Aufträge und dem Informationsfluss in die Produktionsbereiche. Eine neue Visualisierungsanwendung soll in Zukunft Planung und Ausführung der Aufträge besser unterstützen. Um gezielt Datensätze sowie die Art und Weise

der Visualisierung zu definieren, wurde die FHNW (Institut für Business Engineering IBE und Institut für Automation IA) beigezogen, um einen Prototypen für einen Teilbereich der Produktion aufzusetzen. Die Erfahrungen aus der Anwendung des Prototyps sollen ein klares Lastenheft ergeben, sodass gezielt eine nützliche Visualisierungssoftware beschafft werden kann.

## Umsetzung

Zu Beginn des Projektes wurden mit den Anwendern die wichtigsten Datenfelder und deren Zusammenhänge definiert und mögliche Visualisierungsansätze skizziert. Wichtig waren das Verständnis der bestehenden Workflows und die Erwartungshaltung an die neue Applikation. Die Umsetzung erfolgte zuerst mittels simulierten Daten, sodass die Visualisierung bereits frühzeitig mit realistischen Daten gefüttert werden konnte. Dies war eine wichtige Basis, um dem Projektteam so einen ersten

Mockup zeigen zu können und dadurch konkrete Rückmeldungen zu erhalten. Die Datenschnittstelle an das SAP System erfolgt über eine Webservice Schnittstelle. Diese Schnittstelle wurde eigens für dieses Projekt geschaffen, mit dem Ziel, dass sie in ähnlicher Weise für die finale Applikation genutzt werden kann. Der Feinschliff und die Installation erfolgte schlussendlich direkt vor Ort, so konnte der Anwender noch letzte Inputs direkt einfließen lassen. Die Applikation wurde in LabVIEW geschrieben, diese Sprache ermöglicht eine schnelle Umsetzung und flexible Gestaltung im User Interface.

Die Visualisierung zeigt ausschliesslich Livedaten aus der Produktion bzw. aktuelle Planungsdaten. Einerseits wird die Planung für die verschiedenen Fertigungsbereiche zusammenfassend dargestellt (Abbildung 1), andererseits soll die Visualisierung für jede Fertigungszelle kritische Aufträge markieren und momentane Zustände der Fertigungszelle anzeigen. So dient die Visualisierung nicht nur der Auftragsplanung, sondern durch die Installation in den Produktionsbereichen können Prioritäten und Ereignisse direkt vor Ort einfließen. Die zeitgenaue Produktionsplanung führte in der Vergangenheit dazu, dass die

Produkte die Fertigung schneller durchliefen und Zwischenlager minimiert wurden. Für Mitarbeiter im Fertigungsbereich scheint der Auftragsbestand daher knapper als früher – hier hilft das Tool, indem es die Auslastung über den ganzen Planungshorizont aufzeigen kann.

#### **Ausblick**

Die Anwender können nun wichtige Erkenntnisse liefern. So können bald ein vollständiges Lastenheft geschnürt und mögliche Lieferanten angefragt werden. Nur unter Einbezug bereits vorhandener Daten kann so eine Live-Visualisierung über alle Produktionsbereiche und sogar über verschiedene Produktionsstandorte helfen, die Produktionsprozesse und die damit verbundenen Produktionszeiten weiter zu optimieren.

#### **Projektteam**

Prof. Dr. Raoul Waldburger, Leiter Institut für Business Engineering FHNW, raoul.waldburger@fhnw.ch  
Silvano Germann, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, silvano.germann@fhnw.ch

# Anlagenautomatisierung verhilft zu neuen Krebs-Behandlungsmethoden am PSI

Seit 1996 steht am grössten nationalen Forschungszentrum PSI (Paul-Scherrer-Institut) in Villigen eine schweizweit einzigartige Bestrahlungsanlage zur Behandlung von tiefliegenden Tumoren mittels Protonen. Dabei wird die an dessen ZPT (Zentrum für Protonentherapie, [www.psi.ch/protontherapy/zentrum-fuer-protonentherapie](http://www.psi.ch/protontherapy/zentrum-fuer-protonentherapie)) entwickelte Spot-Scanning-Methode angewandt.

**Benjamin Graber**

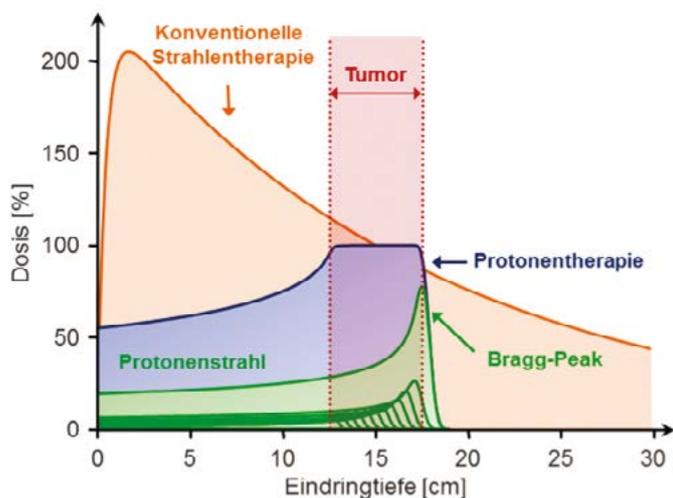


Abbildung 1: Die Energieabgabe von Protonenstrahl und konventioneller Strahlung werden in Abhängigkeit der Eindringtiefe miteinander verglichen.

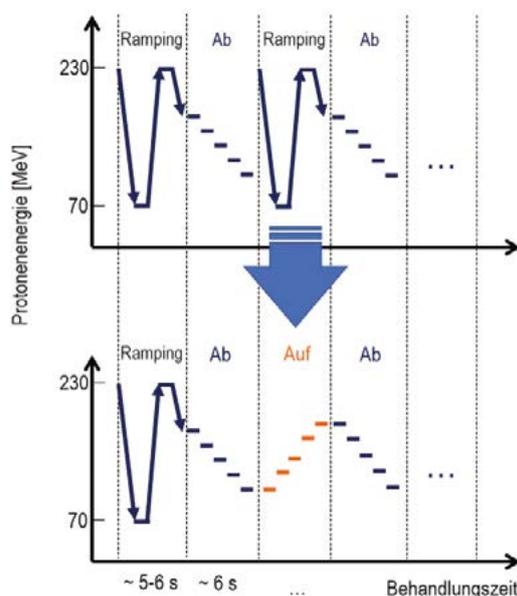


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Rescanning-Prozesses vor und nach der Optimierung; das Ramping wird benötigt, um die Magnete zu initialisieren.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit (BT) im Studiengang Systemtechnik der FHNW-Hochschule für Technik wurde zwischen September 2016 und August 2017 in enger Zusammenarbeit mit dem PSI der Bestrahlungsprozess beim Rescanning erfolgreich optimiert. Dies mit dem Ziel, die Bestrahlungszeit zu minimieren und eine Kombination von Rescanning mit anderen Technologien (z.B. Breathhold) zu erlauben; um neu auch bewegte Tumore (zum Beispiel in der Lunge) mittels der Gantry 2 Anlage zu behandeln. Im Rahmen dieser aufwändigen Studie (min. 540 Arbeitsstunden des Studierenden über 2 Semester) wurde dazu eine automatisierte Messmethode entwickelt. Dadurch kann nun bei Beibehalt der Strahlgenauigkeit der Bestrahlungsprozess um den Faktor 2 bis 2.5 beschleunigt werden.

## Behandlung tiefliegender und bewegter Tumore

Die Protonentherapie ist weltweit als effiziente Methode zur Behandlung von Krebs anerkannt. Im Vergleich zur Behandlung mit konventioneller Strahlentherapie gibt der Protonenstrahl den grössten Teil seiner Dosis im sogenannten «Bragg Peak» ab. Seitlich kann der Protonen-

strahl mittels Ablenkmagnete ausgelenkt werden während die Eindringtiefe der Protonen durch Veränderung ihrer Anfangsenergie eingestellt wird. Durch akribische Berechnungen werden mehrere Tausend solcher Bragg Peaks (Spots) im ganzen Tumor platziert, so dass die resultierende Dosisverteilung das gesamte Tumolvolumen homogen und konform abdeckt. Mit dieser Methode wird der Tumor fortlaufend dreidimensional abgescannt. Es war eine Pioniertat als diese ‚Spot-Scanning‘ Technik am PSI in der Mitte der 90er Jahre entwickelt und klinisch eingeführt wurde. Erst in den letzten 10 Jahren hat sich die Spot-Scanning Technologie nun auch weltweit durchgesetzt. Durch sie kann das umliegende Gewebe optimal geschont werden und mit dieser Behandlungsmethode können auch Tumore behandelt werden, welche sich in unmittelbarer Nähe von gesunden aber kritischen Organ befinden (Abb. 1).

Zukünftig sollen am ZPT nun auch bewegte Tumore behandelt werden können. Dazu wurde am PSI-ZPT ein sogenanntes «Rescanning»-Verfahren entwickelt. Rescanning

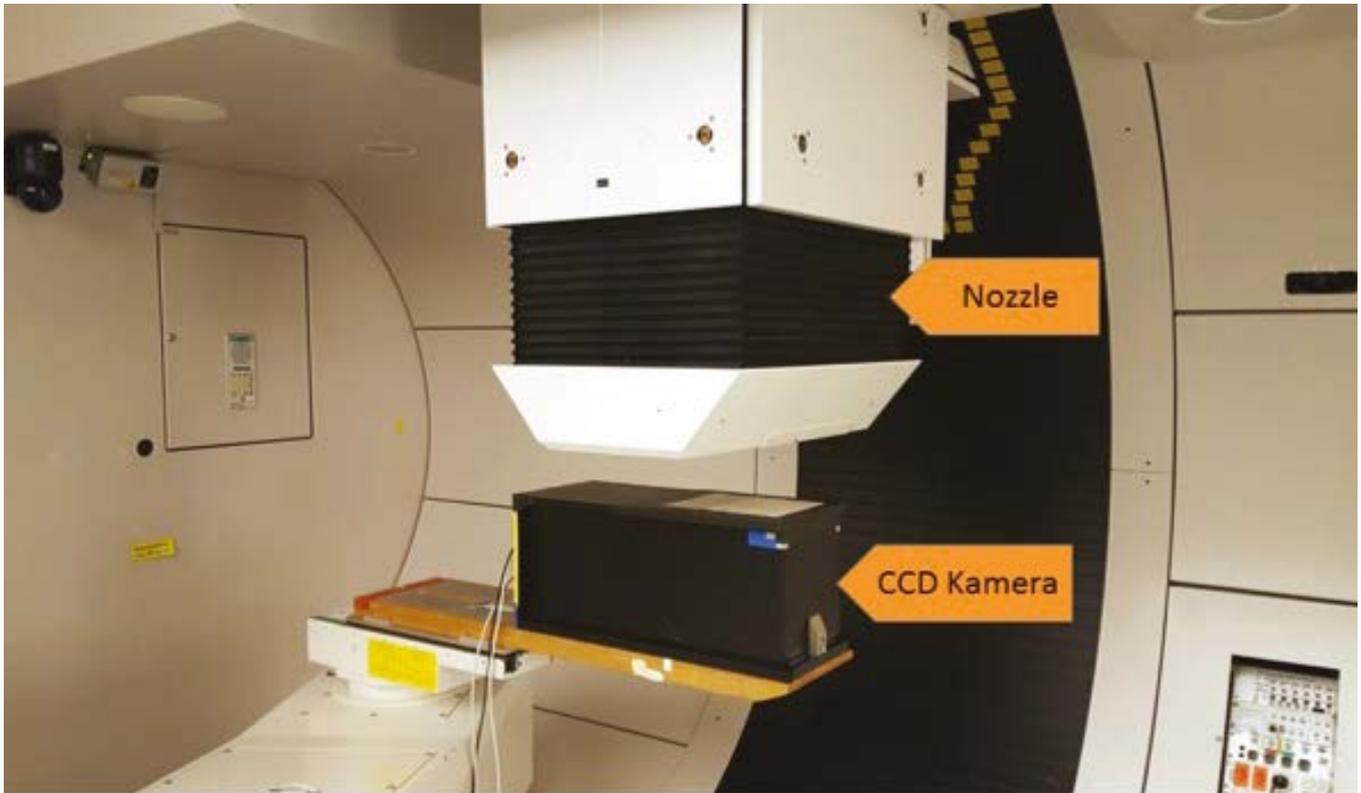


Abbildung 3: Gantry2-Anlage mit Aufbau der CCD-Messeinrichtung.

bedeutet: Die Gesamtdosis wird in kleine Teile aufgeteilt und das Zielvolumen wird mehrfach mit entsprechend reduzierter Protonendosis bestrahlt.

#### **Verbesserung der «rescanning»-Methode**

Die Protonen werden vom Beschleuniger (ein Protonen-Zyklotron) in einer Strahlführung mittels Magneten in den Behandlungsraum geleitet. Da unterschiedliche Protonenenergien benötigt werden muss die Stärke der Magnete für jede Energie neu gesetzt werden. Bei der bestehenden Implementierung des Rescannings wird der Protonenstrahl bei der höchsten Protonenenergie angesetzt und dann schrittweise reduziert. Dieser Vorgang wird danach mehrere Male wiederholt. Dieser Verlauf lässt sich optimieren, indem die Energieänderung abwechselnd in auf- und absteigender Richtung durchgeführt werden (Abb. 2). Zur Energieänderung in Aufwärtsrichtung mussten die Stromwerte für die Strahlführungsmagnete präzise berechnet werden. Dazu wurden während der BT mehrere Experimente durchgeführt, wobei die verschiedenen Protonenenergien in Auf- und Abwärtsrichtung in jeweils 10 MeV-Schritten gemessen wurden. Untersucht wurde ein Energiespektrum von 70 bis 230 MeV, was Eindringtiefen in den menschlichen Körper von 4-33 cm entspricht. Für die Aufwärtsrichtung wurden vorerst dieselben Steuerparameter wie für die Abwärtsrichtung verwendet. Aufgrund von Magnetisierungs- und Hysterese-Effekten weicht die Strahlposition in Aufwärtsrichtung von der Position in Abwärtsrichtung minimal ab. Mithilfe einer aufwändigen Datenanalyse und mathematischen Berechnungen wurden in der vorliegenden BT-Studie deshalb Korrekturwerte für die Aufwärtsrichtung berechnet. Dazu wurde die Position der Spots (Strahlableitung und Eindringtiefe) in Aufwärtsrichtung jenen Spots in Abwärtsrichtung angenähert. Die

berechneten Werte wurden mit Verifikationsmessungen überprüft. Dabei wurden die relevanten Strahlparameter mit verschiedenen Dosimetrie-Messeinrichtungen gemessen. So wurde z.B. zum Messen des 2D-Dosisprofils eine gekühlte CCD-Kamera verwendet. Um diese Messungen effizient durchführen zu können, wurde zusätzlich eine Synchronisation zwischen dem Therapiekontrollsystem und der speziell rauscharmen CCD-Kamera entwickelt.

#### **Effiziente Datenaufnahme dank Synchronisation mit der Strahlapplikation**

Die CCD-Messeinrichtung (Abb. 3) funktioniert folgendermaßen: Der Protonenstrahl durchdringt die schwarze Box (in der Bildmitte), unter deren oberen Fläche sich eine szintillierende Schicht befindet. Proportional zur Stärke des Protonenstrahls entsteht eine 2-dimensionale Lichtverteilung, welche über einen im 45-Grad-Winkel stehenden Spiegel auf die CCD-Kamera umgelenkt wird. Aufnahmen mit dieser Messeinrichtung wurden mit dem sogenannten Therapiekontrollsystem (TCS) synchronisiert. Mithilfe eines neu entwickelten LabVIEW-Steuerprogramms und einer graphischen HMI-Benutzeroberfläche kann der Messablauf vom Experimentator nun akkurat gesteuert und synchronisiert werden. Dazu wird der Therapieplan so programmiert, dass das TCS vor und nach jeder Messung einen Triggerimpuls an die LabVIEW-Hardware sendet. Das Programm startet und stoppt dann die Bildaufnahme der CCD-Kamera und gibt gleichzeitig den Protonenstrahl über ein Sicherheitssignal frei, wodurch die Aufnahme einzelner Spots ermöglicht wird. Das Steuerprogramm unterbricht zum Auslesen der Bilder kurz den Ablauf des vorprogrammierten Therapieplans und speichert das Bild in einem Memory Array.

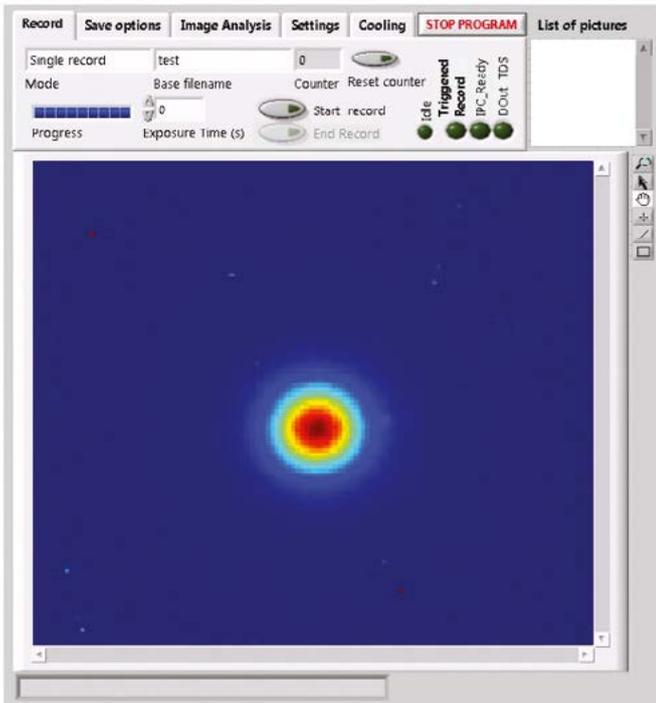


Abbildung 4: Die Benutzeroberfläche des Synchronisationsprogramms, mit dem Abbildung eines Protonenstrahl-Spots (die verschiedenen Farben entsprechen unterschiedlichen Intensitäten).

Mit dem neu entwickelten Synchronisationsprogramm können nebst synchronisierten Messungen auch Einzelmessungen gemacht werden. Es sind sowohl ein kontinuierliches Aufnehmen sowie auch Aufnahmen während einer einstellbaren Zeitdauer möglich. Die Bilder können manuell oder automatisch, direkt während dem Messablauf mit einem Medianfilter und Pixelbereich-Anpassung bearbeitet werden; und abschliessend mit verschiedenen Bildformaten abgespeichert werden. Dank dieser automatischen Bildbearbeitung können die Bilder schon während des Messablaufs analysiert und beurteilt werden (Abb. 4).

### Ergebnisse und Integration in den klinischen Alltag

Die neu berechneten Einstellungen für die Strahlführung mussten mit Verifikationsmessungen bestätigt werden. Dafür wurde die Strahlposition (Strahlauslenkung und Strahlreichweite) einzeln mit verschiedenen ausgefeilten Messeinrichtungen überprüft. Die Resultate zeigten deutlich auf, wie die Strahlposition in aufsteigender Energierichtung den Spots in absteigender Energierichtung angepasst wurde. Für alle Energien ist die maximale Strahlabweichung beim Patienten zwischen auf- und absteigender Energierichtung kleiner als 0.2 mm. Dieser akzeptable Wert liegt im Bereich der Strahlgenauigkeit und der Auflösung der Messeinrichtungen. Bei der Reichweite des Protonenstrahls beträgt die maximale Abweichung zwischen auf- und absteigender Energierichtung sogar nur winzige 0.02 mm! Zum Ende der vorliegenden BT wurden Verifikationsmessungen mit dem beschriebenen Synchronisationsprogramm durchgeführt. Aus den aufgenommenen Bildern konnte zusätzlich die Form von Protonenspots erfolgreich überprüft und die unveränderte Form bestätigt werden.

Die berechneten Stromwerte zu den Protonenstrahl-Steuermagneten werden künftig für Energierichtungsänderungen auch in aufsteigender Richtung angewendet. Dieser Schritt ist ein wichtiger Bestandteil bei der Weiterentwicklung der „Rescanning“-Methode, womit eine effektivere Bestrahlung von beweglichen Tumoren ermöglicht wird.

Das Synchronisationsprogramm zur CCD-Kamera wird fortan am ZPT des Paul-Scherrer-Instituts im Rahmen von Experimenten und Messungen zur Qualitätssicherung verwendet und sorgt nicht nur für Zeiteinsparungen bei diesen Vorgängen, sondern wird auch neue Messverfahren ermöglichen.

Benjamin Graber

Diplomand SG Systemtechnik (2017)

Dr. Oxana Actis & Dr. David Meer

Auftraggeber/Fachbetreuer PSI-ZPT, Villigen

**Betreuer der Diplomarbeit:**

Prof. Jörg Sekler, FHNW Campus Brugg-Windisch

# Modellierung von strukturelastischen Effekten in hochpräzisen Bearbeitungsmaschinen

Für hochpräzise Bearbeitungen im Mikrometerbereich kann, je nach Systemaufbau, der Einfluss strukturelastischer Effekte nicht vernachlässigt werden. Um die Auslegung der Anlagen im zukünftigen Entwicklungsprozess zu optimieren, entwickelt das Institut für Automation der Fachhochschule Nordwestschweiz ein Werkzeug zur Identifikation dieser Effekte und Auslegung der automatisierten Maschinen. Ein Teilgebiet dieses Tools sind die Berücksichtigung von strukturelastischen Effekten, welche in heutigen Anlagen die Genauigkeit bei hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten begrenzen.

**Thomas Bucher**

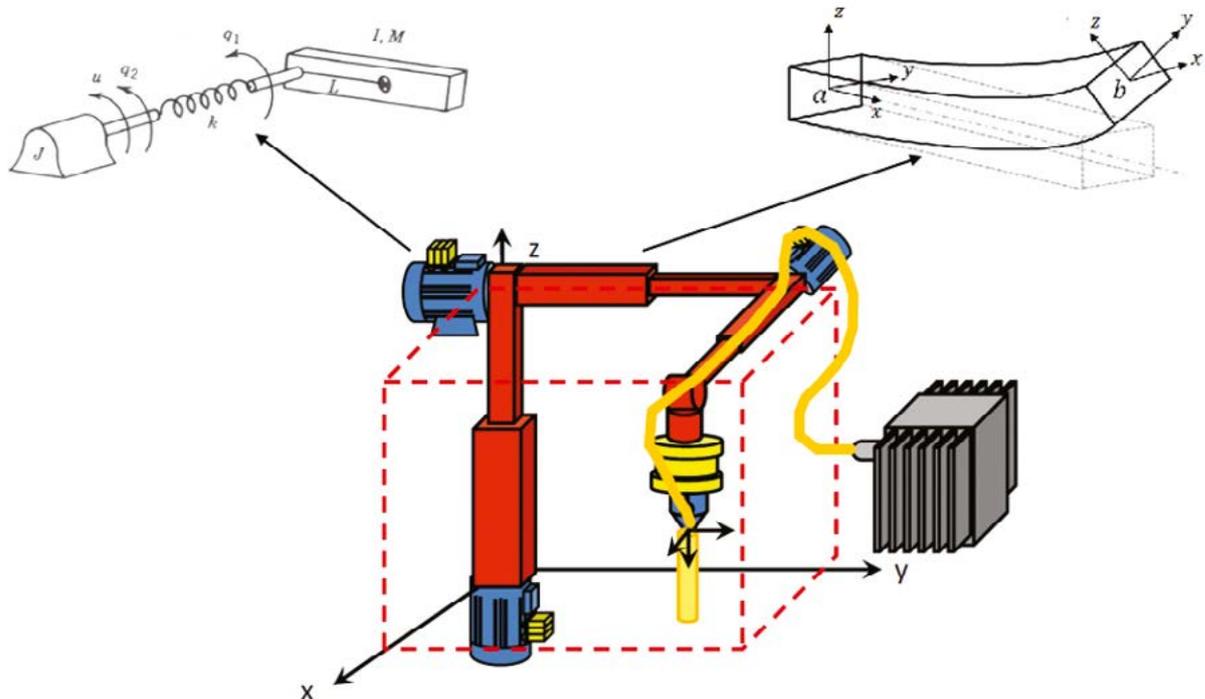


Abbildung 1: Vereinfachter Aufbau einer Bearbeitungsmaschine für den Modellierungsprozess

## Ausgangslage

Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen Class 4 Laser Professionals AG, Contronics GmbH und dem Institut für Automation werden die Leistungsgrenzen von Bearbeitungsmaschinen hinsichtlich Dynamik und Präzision untersucht. Mit den Erkenntnissen lässt sich der Entwicklungsprozess von Laserbearbeitungsanwendungen unterstützen und kostenoptimierte Lösungen zu spezifischen Kundenanforderungen können bereitgestellt werden.

Ein genereller Konflikt entsteht bei sehr hohen kontinuierlichen Bahngeschwindigkeiten, wenn gleichzeitig sehr hohe Bahngenauigkeiten einzuhalten sind. Werden zudem

Massen bewegt, stellen diese üblicherweise mit steigender Geschwindigkeit eine Limitierung für die Dynamik dar. Die Antriebskräfte müssen zum Aufbau der Beschleunigung die Massenträgheit überwinden, das gleiche Problem tritt beim Bremsen auf. Ein typischer Fertigungsablauf ist mit vielen Richtungsänderungen verbunden und die einzelnen Achsen müssen für diese Manöver synchron beschleunigen und bremsen. Die Genauigkeit des Bearbeitungsprozesses kann durch Einfluss strukturelastischer Effekte zusätzlich leiden. Die erforderlichen Kräfte zum Bewegen der Massen und des Arbeitspunkts verursachen dann eine Biegung der tragenden Verbindungselemente, was bei hohen dynamischen Anforderungen verstärkt vor-

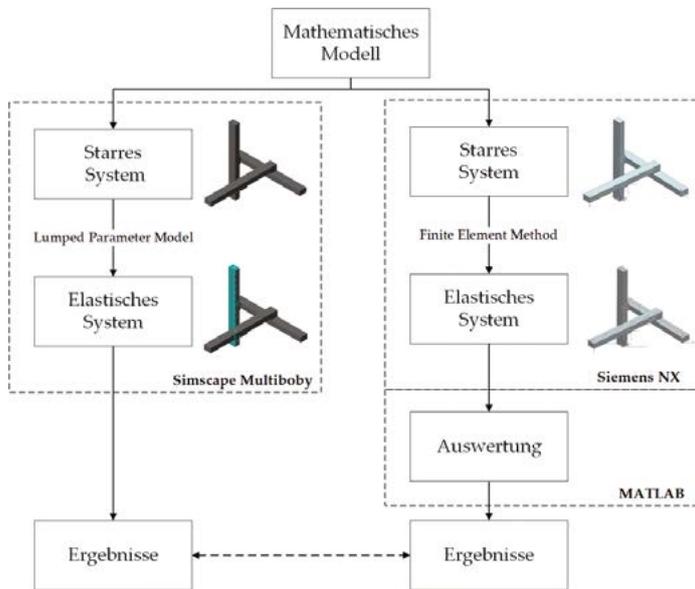


Abbildung 2: Vorgehen bei der Modellierung der strukturelastischen Effekte in den Softwareumgebungen in Form von Siemens NX und Simscape Multibody. Als Diskretisierungsansätze wurden hierbei die Finite Element Method sowie das Lumped Parameter Model verwendet.

kommen kann und in verschiedenen Maschinenelementen anzutreffen ist. Um diese Effekte genauer beschreiben zu können und im zukünftigen Entwicklungsprozess anforderungsgerechte Lösungen zur Verfügung zu stellen, wird im Rahmen einer Bachelorarbeit der Zusammenhang untersucht.

### Modellierung von Strukturelastizitäten

Damit eine Aussage über die zu erwartende Genauigkeit einer Fertigungsanlage bereits im Konstruktionsprozess berücksichtigt werden kann, sind entsprechende Simulationen nötig. In diesen können verschiedene Testfälle bezüglich Dynamik und Genauigkeit durchgerechnet werden. Das Ergebnis wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wie den verbauten Komponenten, der Materialwahl, Konstruktion, Software zur Bestimmung der Bewegungsprofile, eingesetzte Regler und erstreckt sich über mehrere Ingenieursdisziplinen. Zwei Simulationsansätze zeigen dabei den Einfluss strukturelastischer Effekte auf die Leistungsfähigkeit der zukünftigen Fertigungsanlage. Zum einen die Analyse der Konstruktion mittel FEM-Werkzeu-

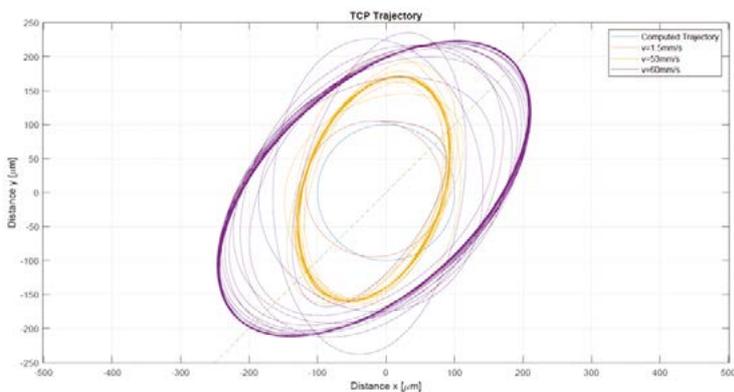


Abbildung 3: Simulation einer Kreis-Trajektorie bei den Bearbeitungsgeschwindigkeiten zwischen 1 - 60 mm/s

gen und zum anderen ein Simulationsmodell zur Mehrkörperdynamik. Der Fragestellung wird ein mathematisches Modell von drei seriellen Achsen zugrunde gelegt und beide Varianten in zwei Simulationsumgebungen implementiert. Dadurch kann ein Vergleich zwischen beiden Simulationsansätzen (Abbildung 2) und mit Untersuchungsergebnissen an realen Anlagen durchgeführt werden. Das mathematische Modell umfasst einen vereinfachten Aufbau einer Bearbeitungsmaschinenkinematik in Form eines Gantry-Aufbaus für die Herleitung der Modellierungsschritte (Abbildung 1). Das gewählte Modellierungsvorgehen lässt sich auch auf komplexere serielle Industrieroboterkinematiken anwenden.

Für den FEM-Simulationsansatz wird exemplarisch in Siemens NX, ein weitverbreitetes CAD-Konstruktionswerkzeug, implementiert. Da sich diese Umgebung sehr nahe an der Konstruktion von Anlagen orientiert, können die zu erwartenden Effekte besonders detailliert berücksichtigt werden.

Zur Beschreibung der Mehrkörperdynamik wird andererseits die Simulationsumgebung Simscape Multibody, eine Toolbox für MATLAB/Simulink verwendet. Effekte, die hier abbildbar sind, können besonders für regelungstechnische Lösungen berücksichtigt werden. Die beiden Modelle sind qualitativ und quantitativ anhand von vorgegebenen Test-Trajektorien, welche aus realen Anwendungsfällen der industriellen Praxis entnommen sind, über entsprechende Auswertungen vergleichbar.

### Simulationsresultate

Der direkte Vergleich zeigt, dass die Resultate im Mehrkörpersimulationssystem «Simscape Multibody» nur unzureichend die zu erwartenden strukturelastischen Effekte im System abbilden können. Dies rührt vor allem daher, dass die Softwareumgebung keine gute Anpassung an das mathematische Modell zulässt und eine zu ungenaue Diskretisierungsmethode verwendet mit lediglich 40 Freiheitsgraden. Dem gegenüber erzielt das mit Siemens NX erstellte Modell sehr gute Resultate, vor allem da hier mit der Methode der finiten Elemente eine sehr genaue Diskretisierungsmethode mit über 100'000 Freiheitsgraden verwendet wird.

Zum Testfall, eine Kreistrajektorie mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu fahren, werden die zu erwartenden Ungenauigkeiten sehr offenkundig (Abbildung 3). So liegt bei kleinen Geschwindigkeiten ein fast idealer Kreis vor und bei hohen Geschwindigkeiten führen strukturelastische Effekte zu immer grösseren Abweichungen in Form einer Ellipse mit deutlich grösseren Durchmesser. Um das Verhalten im statischen und dynamischen Bereich im Entwicklungsprozess weiter zu verwenden, wird aus den Modellerkenntnissen eine mathematische Beschreibung in Form eines Zustandsraummodells erstellt, welches die wichtigsten dynamischen Effekte abbilden kann.

Dieses Simulationsergebnis besteht den Vergleich zur realen Testanlage an der Fachhochschule und kann verifiziert werden.

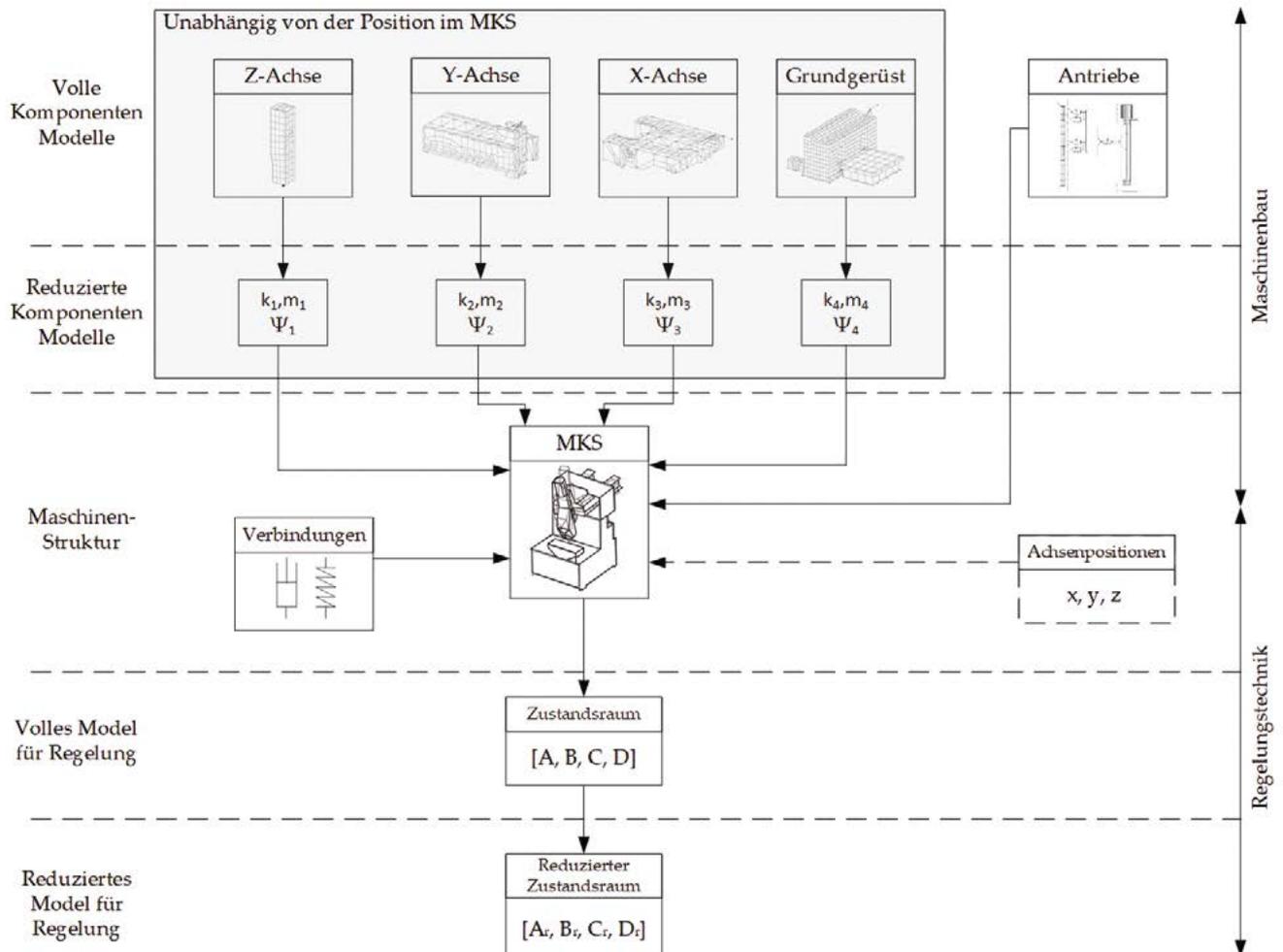


Abbildung 4: Entwickeltes Vorgehen zur Modellierung beliebiger Roboterstrukturen in Laserbearbeitungsmaschinen

Mit dem Zustandsraummodell ist es möglich, in der Auslegung der Regelung der Antriebe und der Bahnplanung die strukturelastischen Effekte zu berücksichtigen.

Anhand der vollzogenen Herleitungsschritte kann mit vereinfachten kinematischen Roboterstrukturen für die Entwicklungsprozesse von Fertigungsanlagen ein allgemeines Vorgehen abgeleitet werden, um beliebige Anlagenkonfigurationen mathematisch genau genug zu modellieren und im Rahmen einer simulationsunterstützten Planungsphase die spezifischen Kundenanforderungen zu berücksichtigen (Abbildung 4).

Dieses Vorgehen kann mit verschiedenen Softwareumgebungen umgesetzt werden und ist im Rahmen dieser Abschlussarbeit am Beispiel von Siemens NX in Kombination mit MATLAB aufgezeigt.

#### Ausblick

Im Weiteren können die weiteren Einflussfaktoren, wie Systemkomponenten, Bewegungsplanungssoftware und Regelungsstrukturen auf den Beitrag zur Bahntreue bei hohen Geschwindigkeiten berücksichtigt werden. Durch Verwendung bekannter Systemkomponenten und der Möglichkeit, die Resultate mit realen Fertigungsprozessdaten zu vergleichen, kann ein solches Werkzeug und ein solches Vorgehen zur Auslegung von Bearbeitungsmaschinen auf die Leistungsfähigkeit geprüft werden.

Ein weiterer Punkt, welcher mit den Erkenntnissen dieser Arbeit angegangen werden kann, ist die Entwicklung einer Regelstruktur, welche die Schwingungen aufgrund von strukturelastischen Effekten unterdrückt oder minimiert. Somit kann ebenfalls der Transfer der Erkenntnisse in die Auslegung der Antriebssysteme einfließen.

#### Projektteam

Thomas Bucher, Bachelorstudent Systemtechnik,  
thomas.bucher1@students.fhnw.ch

#### Projektbetreuer

Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation,  
roland.anderegg@fhnw.ch  
Max Edelmann, Doktorand und wissenschaftlicher  
Mitarbeiter Institut für Automation,  
max.edelmann@fhnw.ch  
Jonathan Hüni, Masterstudent und wissenschaftlicher  
Assistent Institut für Automation,  
jonathan.hueni@fhnw.ch

# NanoFrazor Scholar – hochauflösendes Nanolithographie-Tool für Technologie Einsteiger

Im Rahmen eines KTI/Innosuisse-Projektes wird zusammen mit der Firma SwissLitho AG ein neues Instrument zur nanolithographischen Oberflächenbearbeitung entwickelt. Nach der Evaluation eines hochpräzisen Piezo-Positionierers musste die Regelung angepasst und optimiert werden.

**Robin Erne**

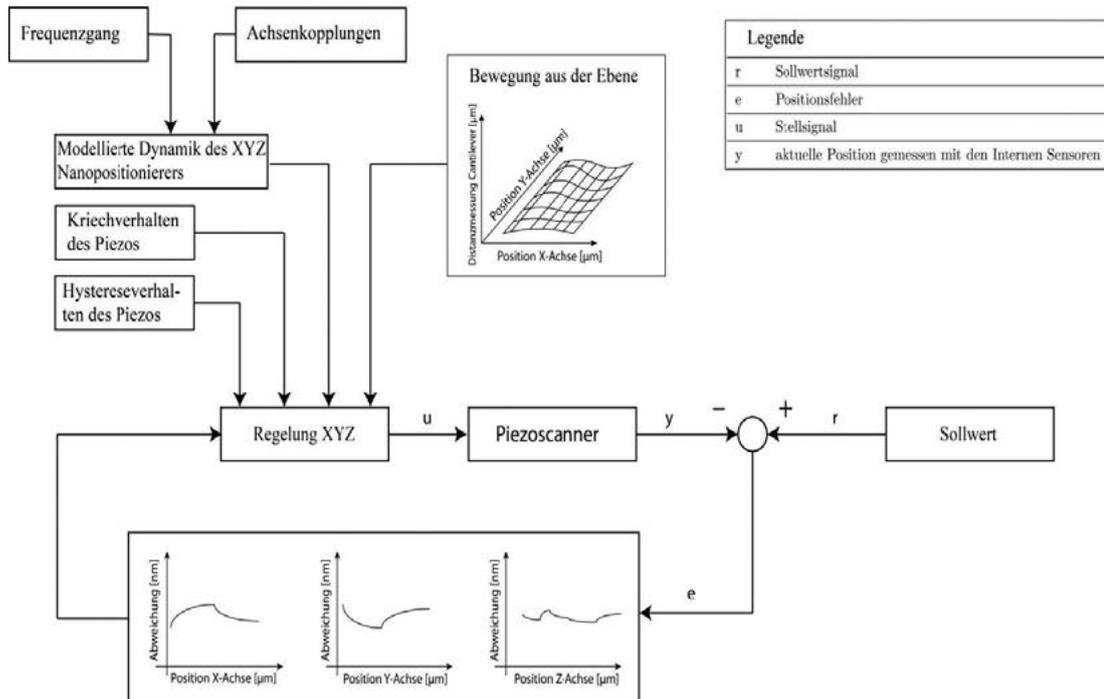


Abbildung 1: Blockdiagramm des Regelkreises

Die Firma SwissLitho (SL) aus Zürich entwickelt und verkauft NanoFrazor Maschinen. Ein NanoFrazor ist ein einzigartiges nanolithographisches System zur Oberflächenstrukturierung im Nanometerbereich. Zu den Kunden von SL gehören Forschungsgruppen und Universitäten aus der ganzen Welt.

Um den Marktzugang zu erweitern wird zusammen mit der FHNW ein Einsteigermodell eines NanoFrazors entwickelt, der NanoFrazor Scholar. Die Zusammenarbeit im Rahmen eines KTI/Innosuisse-Projektes läuft seit dem Jahr 2017.

In einer ersten Projektphase wurden geeignete Piezo-Positionierersysteme evaluiert und auf ihre Funktion getestet. Nach der Auswahl eines passenden Kandidaten galt es nun, deren Ansteuerung zu optimieren.

## Ausgangslage

Das aktuelle Regelungsverfahren von SwissLitho nutzt die Periodizität einer Sollwerttrajektorie aus. Um einen korrekten Positionsverlauf zu erhalten, werden zunächst «Übungsvorgänge» gestartet, die mittels «Iterative Learning Control

(ILC)» eingeregelt werden. Die ILC korrigiert iterationsweise das Stellwertsignal. Dazu wird der Messfehler berechnet und zum vorhergehenden Stellwert addiert, wie es in Abbildung 2 dargestellt wird. Dieses Verfahren wird maximal für 15 Iterationen angewendet

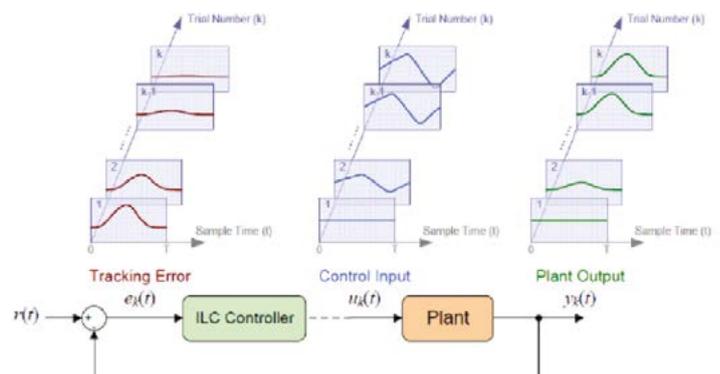


Abbildung 2: Iterative Learning Control

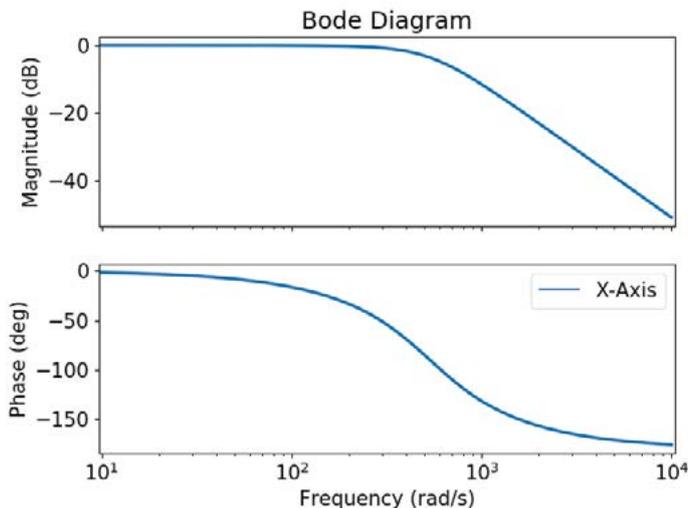


Abbildung 3: Bode-Diagramm der X-Achse

Dieses iterative Vorgehen funktioniert, ist jedoch nicht sehr effizient, da das mehrmalige Abfahren einer Trajektorie zeitaufwändig ist. Ausserdem bringt man die Positionsabweichungen nie ganz gegen Null, weil durch die Iterationen auch das Messrauschen zum Stellwertsignal addiert wird.

Deshalb ist das Ziel der zweiten Projektphase, eine modellbasierte Regelung zu implementieren, um auf Antrieb eine möglichst kleine Positionsabweichung zu erreichen.

### Systemidentifikation

Um ein Modell des Positionierers zu erstellen, wurde eine Systemidentifikation durchgeführt. Mit Frequenzgangmessungen lässt sich das Verhalten der Achsen des Systems in einem Bode-Diagramm darstellen. Die Abbildung 3 zeigt das Bode-Diagramm der X-Achse.

Mit Hilfe des Identifikationstools von MATLAB wurde aus den gemessenen Daten für jede Achse eine Übertragungsfunktion aufgestellt.

### Reglerentwurf mit Simulation

Mit der berechneten Übertragungsfunktion lässt sich das Verhalten der Regelstrecke am Computer simulieren. So

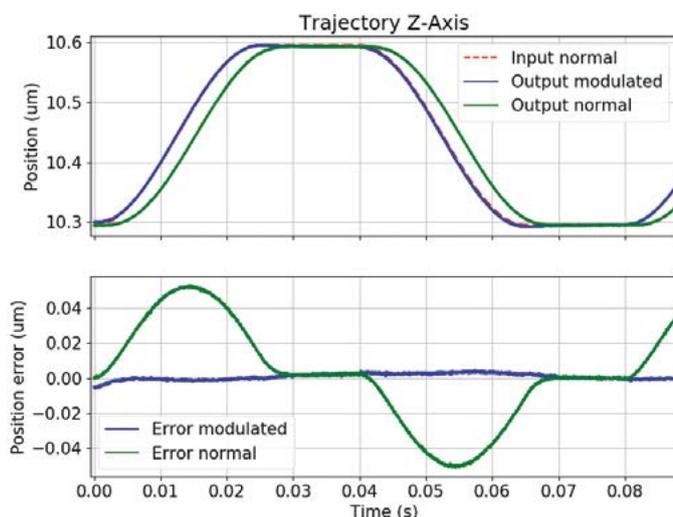


Abbildung 4: Trajektorie und Positionsabweichung der Z-Achse

können viele verschiedene Reglerentwürfe getestet werden, ohne den Positionierer ansteuern zu müssen.

Die Parameter für die optimale Reglerauslegung wurden zunächst durch die Simulation bestimmt, und wurden anschliessend am realen System getestet.

### Resultate

In der Abbildung 4 sieht man die Messwerte der Positionen und die Abweichung gegenüber dem Sollwert auf der Z-Achse.

Die rot gestrichelte Linie ist die gewünschte Trajektorie. Die grüne Linie zeigt die Antwort des Systems ohne Regler. Der Positionierer reagiert aktuell zu langsam, weshalb eine Abweichung von über 50 nm zur Sollwertkurve entsteht. Die blaue Linie zeigt das Messresultat mit aktivem Regler. Bis auf eine kleine Abweichung ganz am Anfang des Signals bleibt der Fehler unter 5 nm gegenüber dem Sollwert.

Mit der Regelung wird im ersten Schritt eine Genauigkeit von 5 nm erreicht. Das Iterative Verfahren braucht dafür mindestens 4 Durchgänge.

### Ausblick

Die Regelung der Z-Achse funktioniert bereits zufriedenstellend; bei den X- und Y-Achsen müssen die Modelle angepasst werden, da deren Positionsabweichungen jedoch noch zu gross sind. Zusätzlich muss die Regelung vollständig in die Steuerungssoftware integriert werden.

### Industriepartner

Dr. Felix Holzner, CEO SwissLitho AG  
Dr. Philip Paul, CTO SwissLitho AG

### Projektteam

Prof. Jörg Sekler, Projektverantwortlicher FHNW  
joerg.sekler@fhnw.ch

Robin Erne, BSc in Systemtechnik, Masterstudent und wissenschaftlicher Assistent, robin.erne@fhnw.ch

# Optimierung einer Trajektorie für Laserbearbeitungsmaschinen

Für die Steuerung von CNC-Maschinen bzw. die Definition des Bewegungsprofils ist der G-Code ein weitverbreiteter Standard. Daher hat sich dieser auch bei Laserbearbeitungsmaschinen, welche sich im Wesentlichen durch den Laserkopf (anstelle eines Fräsers) unterscheiden, etabliert. Dadurch, dass der G-Code keine eindeutige Aussage über die Kinematik zulässt, ist dieser für eine direkte Anwendung auf diesen Maschinen allerdings ungeeignet. Denn eine konstante Verfahrensgeschwindigkeit ist bei Laserbearbeitungsmaschinen entscheidend für eine gute Schnittqualität. Deshalb wurde eine Software (Python) entwickelt, welche auf Grundlage des G-Codes eine auf den Laser abgestimmte Trajektorie generiert.

**Basil Ruch**

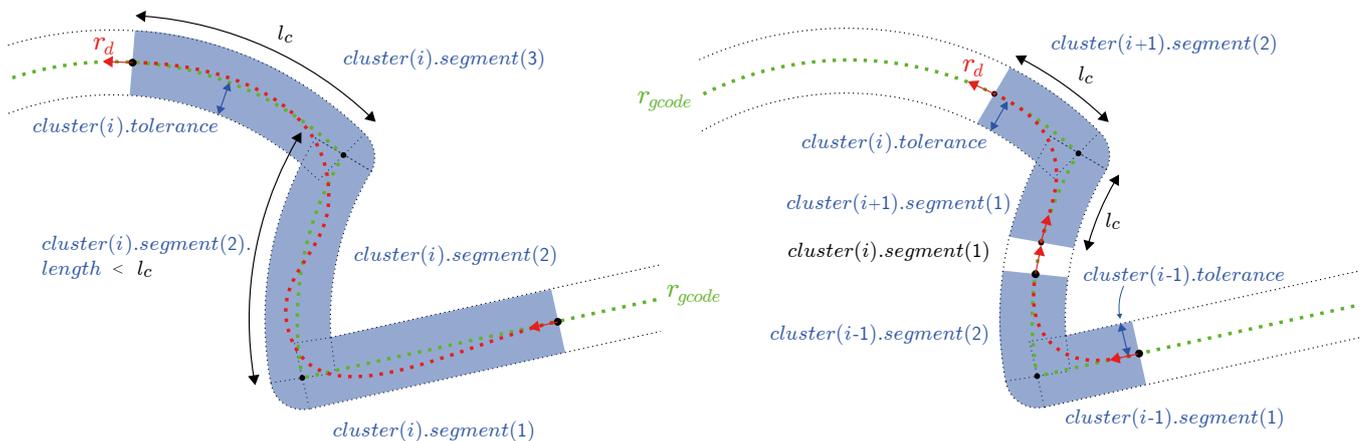


Abbildung 1: Beispiel eines G-Codes-Abschnittes (grün) mit einer optimierten Trajektorie (rot), welche innerhalb des Toleranzbandes (blau) liegen muss (Projektion auf zwei Dimensionen). In der linken Abbildung wurde der Schwellwert  $l_c$  grösser gewählt, dadurch werden zwei Knickpunkte innerhalb eines Clusters zusammengefasst. Segmente zwischen zwei Clustern umfassen entweder Geraden oder Kreise und werden deshalb nicht optimiert.

## Problematik

Die Schnittlinien von Laserbearbeitungsmaschinen werden in diesem Projekt mit genormten G-Code-Befehlen beschrieben. Da diese Norm nur eine Bahn aus zusammengesetzten Kreis- und Geradenbewegungen sowie keine explizite Zeitabhängigkeit zulässt, sind Unstetigkeiten in der mathematischen Formulierung unvermeidbar. Dadurch sind in den Knickpunkten zwischen zwei G-Code-Segmenten Definitionslücken der Geschwindigkeit und Beschleunigung des Laserkopfes möglich. Fehlende Angaben werden durch eine Software zur Bewegungssteuerung (Motion Controller) ermittelt.

In der Laserbearbeitung ist eine über den Schneidprozess möglichst konstante Geschwindigkeit allerdings eine zentrale Anforderung. Da auf die Laserparameter (Energie und Frequenz des Lasers) während des Schnittes unter Umständen wenig Einfluss genommen werden kann, müssen diese vor dem Vorgang festgelegt werden. Für eine bestimmte Schnittgeschwindigkeit und Werkzeugbeschaffenheit gibt es einen

optimalen Arbeitspunkt für Laser-Energie und -Frequenz. Insbesondere beim Ausschneiden spitzer Winkel ist es aber unumgänglich, von dieser optimalen Geschwindigkeit abzuweichen, was eine Verschlechterung der Schnittqualität zur Folge hat. Muss für eine Kurve beispielsweise stark abgebremst werden, so vergrößert sich die Laserenergie pro Weg und es können Hitzestaus im Werkstück entstehen. Dies hat negative Auswirkungen auf die Kantenqualität und die Werkzeugbeschaffenheit in der Umgebung des Schnittes.

Dazu kann ein Optimierungsproblem formuliert werden (siehe Abbildung 1). Ziel ist eine Trajektorie (gepunktete rote Linie) mit möglichst kleinem Beschleunigungsbetrag und der Randbedingung, dass ein Designparameter, hier die Toleranz (Abweichung von der G-Code-Vorgabe, grüne gepunktete Linie), nicht überschritten werden darf (blauer Bereich). Die Schnittgeschwindigkeit wird als Richtwert entsprechend den Laserparametern festgelegt und unterstützt damit konstante Bearbeitungsqualität.

## Umsetzung

Voraussetzung dieser Optimierung ist eine mathematische Beschreibung der Bahn des TCP (Tool Center Point). Um die Komplexität zu reduzieren, ist es hilfreich, diese Optimierung segmentweise vorzunehmen. Hierfür werden die ursprünglichen Bahnabschnitte in neue Segmente unterteilt und zu Clustern zusammengefasst. Es werden nur Segmente mit Unstetigkeiten optimiert. Die Längen der Segmente ( $l_c$  in Abbildung 1) können über einen Parameter eingestellt werden. An den Übergangspunkten zwischen zwei Segmenten entstehen dadurch zusätzliche Randbedingungen, so dass eine kontinuierliche Bewegung sichergestellt werden kann. Das heißt, die zusätzlichen Randbedingungen ermöglichen es, aus den G-Code-Befehlen Bewegungsprofile für Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu generieren mit stetigen Verläufen und unter Einhaltung von definierten Hardwarebeschränkungen, z.B. Leistungsfähigkeit der Antriebe. Beschrieben wird die Bahn eines Clusters mit Legendre-Polynomen, wobei die Polynom-Ordnung von der Anzahl und Länge der Segmente im Cluster abhängig ist.

Da die Distanz zwischen optimierter Trajektorie und G-Code-Sollbahn (Randbedingung) sowie die Berechnung des Betrages der Beschleunigung (Zielfunktion) nichtlineare Funktionen sind, resultiert ein nichtlineares Optimierungsproblem. Optimierungsvariablen sind die Polynomkoeffizienten ( $a$ ):

$$a_{lse} = \arg \min_a \left\{ \max_t |\ddot{r}_d(t, a)| \right\}$$

Die Konvergenzgeschwindigkeit ist umso höher, desto schneller der Algorithmus des Optimierungsproblems eine mögliche Lösung findet. Diese wird wesentlich durch die Wahl der Startwerte beeinflusst und ist daher für die Lösung des Optimierungsproblems entscheidend. Im Rahmen der Untersuchung wird dieser Startpunkt über eine gewichtete lineare Ausgleichsrechnung ermittelt. Mit dem Gewichtungsfaktor kann der Anwender bewusst den Fokus

zwischen minimaler Beschleunigung und Abweichung von der Sollbahn bestimmen und hat somit ein zugängliches Werkzeug, um das Prozessergebnis für eine vorliegende Applikation zugunsten der Schnittgeschwindigkeit oder der Schnittpräzision einzustellen. Bei den meisten Clustern erreicht bereits der Startpunkt ein akzeptables ausgeglichenes Optimum und liegt innerhalb der vorab vereinbarten und tolerierbaren Randbedingungen, so dass diese Trajektorie verwendet werden kann (siehe Abbildung 2).

Ist dies ausnahmsweise nicht der Fall, können sofort Berechnungsalternativen abgeleitet werden, so gibt es zwei empfehlenswerte Möglichkeiten, ohne die Randbedingungen zu beeinflussen:

- Einerseits können die Parameter (wie beispielsweise die Polynomordnung oder numerische Toleranzen) angepasst werden, um danach den Startpunkt erneut zu berechnen.
- Andererseits kann mit Hilfe eines nichtlinearen Solvers nach einem besseren Optimum bzw. nach einer naheliegenden Lösung, welche die Randbedingungen einhält, gesucht werden.

Sollte sich nach Berechnung mit alternativem Solver oder anderen numerischen Konfigurationen bei gleichbleibenden Randbedingungen kein zufriedenstellendes Ergebnis einstellen, kann keine akzeptable Lösung gefunden werden. Dies wird insbesondere dann der Fall sein, wenn spitze Winkel mit restriktiven Toleranzen und oder hoher Zielgeschwindigkeit im starken Missverhältnis stehen. Für solche Fälle kann das Assistenzsystem die Ursache quantifizieren und dem Anwender das Spannungsdreieck aus bestehender Leistungsfähigkeit der Maschine, gegebenem G-Code und den erforderlichen Prozessparametern für die Bearbeitung aufzeigen. Im üblichen Anwendungsfall kann die Leistungsfähigkeit der Maschine nur schwer verändert werden und um Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen, stehen die Trajektorienabschnitte mit Lösungskonflikt in einer grafischen Ansicht zur Verfügung.

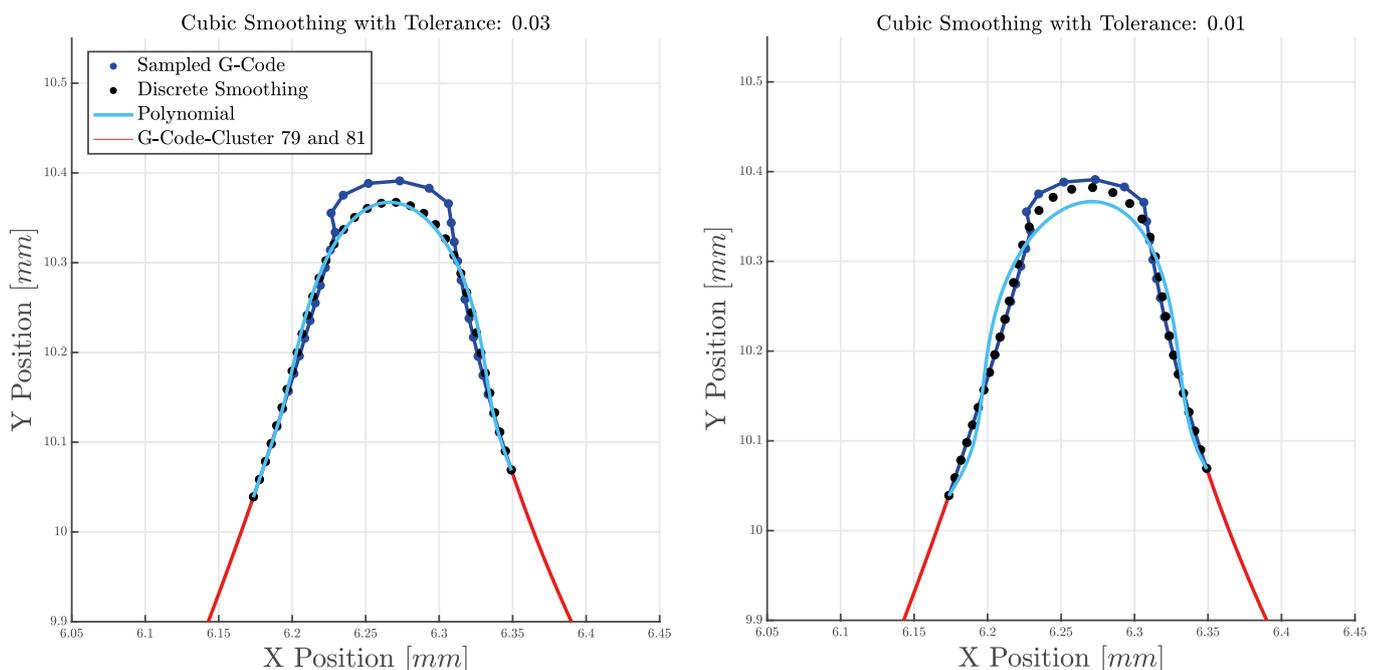


Abbildung 2: Ergebnis nach der Optimierung. Die Darstellungen unterscheiden sich in der Wahl des Toleranzparameters. Links konnte eine geeignete Lösung (hellblau) gefunden werden, rechts wurde die Toleranz (in Kombination mit der anzustrebenden Zielgeschwindigkeit) zu restriktiv gewählt.

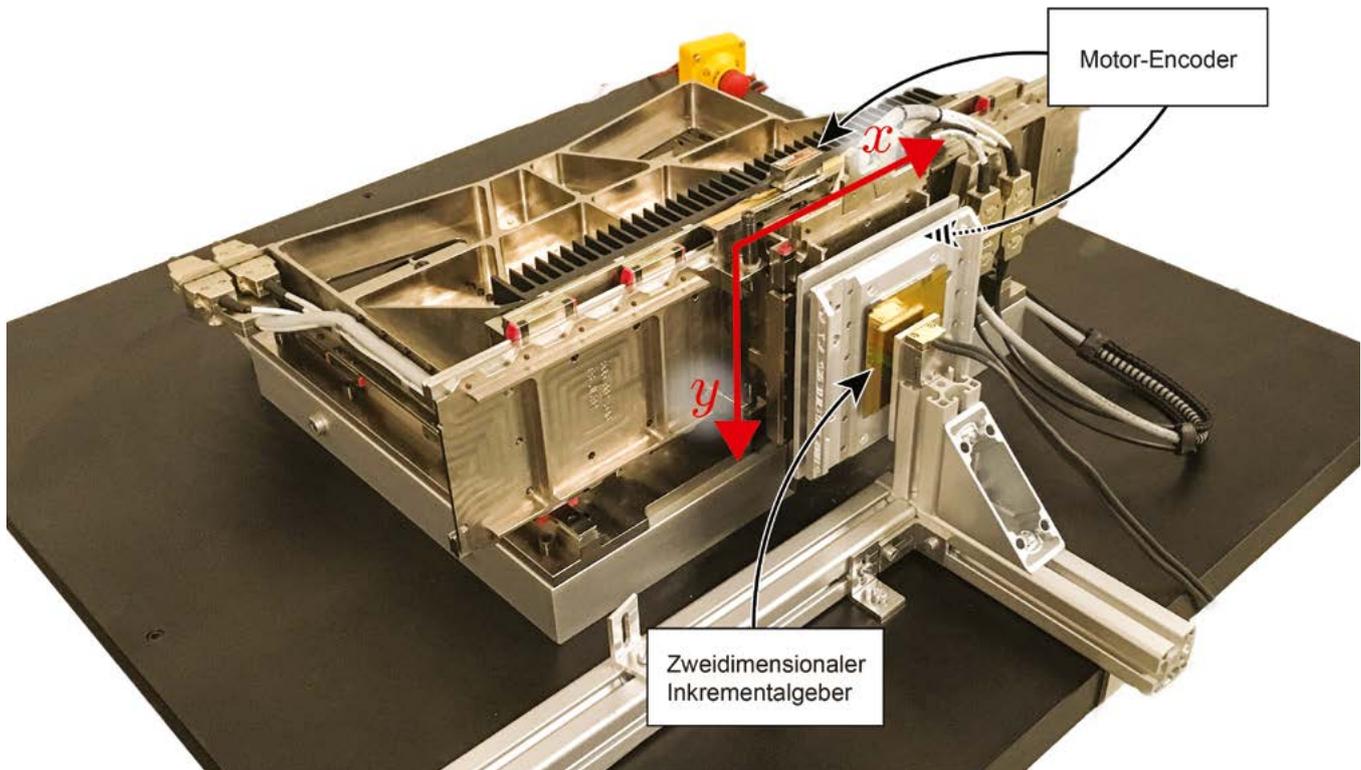


Abbildung 3: Testmaschine mit zwei linearen Achsen. Gemessen wird die Position einer Achse jeweils über einen Motor-Encoder sowie über einen zweidimensionalen Inkrementalgeber (als TCP-Position).

Für diese kritischen Abschnitte können gezielt lokal die Toleranzen gelockert oder Prozessparameter wie Zielgeschwindigkeit angepasst werden. Für einen spezifischen Arbeitsauftrag kann durch den Anwender mit Prozess Know-How bewusst ein Kompromiss ausgelotet werden.

Sobald sämtliche Cluster der Trajektorie optimiert sind, wird in einem letzten Schritt die zusammengesetzte Trajektorie generiert. Dadurch können in Abhängigkeit der Zielgeschwindigkeit Aussagen bezüglich der schlussendlich zu erwartenden Genauigkeit, Zykluszeit und Beschleunigungsspitzen in den bestimmten Trajektorienabschnitten gemacht werden.

Diese Detailinformationen einer Prozessoptimierung können vielfältig Geschäftsprozesse unterstützen, z.B. die Produkt- und Produktionsplanung, Kostenkalkulation, Anforderungen an CNC-Maschinentechnik und Lasersystemechnik oder das Qualitätsmanagement.

#### Ausblick

Die Software zur Optimierung einer Trajektorie unter Einhaltung diverser Randbedingungen wird im nächsten Schritt an einer realen Maschine getestet (siehe Abbildung 3). Deren Steuerung erlaubt es, eine Trajektorie als diskrete Punktfolge (100kHz) für Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung abzufahren.

Das Softwaretool liefert die optimierten Bewegungsprofile basierend auf einem G-Code mit TCP-Bahnen verschiedener Testfälle. Die Positionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der einzeln bewegten Achsen werden über Rückwärtstransformationen auch für eine beliebige Maschinenkinematik bereitgestellt. Mittels präziser, mehrachsiger Positionserfassung am TCP kann die effektive Trajektorie mit der prognostizierten verglichen werden und bildet die Validationsgrundlage.

#### Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation, [roland.anderegg@fhnw.ch](mailto:roland.anderegg@fhnw.ch)

Max Edelmann, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, [max.edelmann@fhnw.ch](mailto:max.edelmann@fhnw.ch)

Basil Ruch, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, [basil.ruch@fhnw.ch](mailto:basil.ruch@fhnw.ch)

Tobias Zubler, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent, [tobias.zubler@fhnw.ch](mailto:tobias.zubler@fhnw.ch)

Robin Zingrich, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent, [robin.zingrich@fhnw.ch](mailto:robin.zingrich@fhnw.ch)

Vincent Märki, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent, [vincent.maerki@fhnw.ch](mailto:vincent.maerki@fhnw.ch)

# 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 Studientrend 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 Studientrend – auch in klassischen Disziplinen

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

## Job und Studium kombinieren – unabhängig bleiben

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

## Arbeitgeber profitieren gleich mehrfach

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

## Zentral studieren auf dem neuen Campus Brugg-Windisch

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

[www.fhnw.ch/technik/bachelor](http://www.fhnw.ch/technik/bachelor)

## Technik-Infotage in Brugg-Windisch

15. November 2019: [www.fhnw.ch/technik/infotage](http://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

# Steuerung zur Einstellung der Geschwindigkeit eines elektrifizierten Rollators

Das Institut für Automation gab den Auftrag an die Studierenden Luca Weber und Dominic Berz, einen elektrischen Rollator mit einer intuitiven Steuerung zu versehen, mit deren Hilfe man mühelos die Geschwindigkeit einstellen, Kurven fahren und Hindernisse überwinden kann. Dabei wurde ein bestehender Prototyp analysiert und entsprechend verbessert.

**Joachim Villinger**



Abbildung 1: Funktionsmuster des elektrischen Rollators



Abbildung 2: Stufenüberwindung

## **Ausgangslage**

In der strategischen Initiative «alternde Gesellschaft» der FHNW sollten Projekte entwickelt werden, die ältere Personen in ihrem Wohnquartier im Bereich Mobilität und im gegenseitigen Austausch unterstützen. Es kristallisierte sich heraus, dass ein elektrischer Rollator die ideale Lösung darstellt, eine Person in ihrem Alltag zu unterstützen. Deshalb wurde eine Studierendengruppe mit der Entwicklung eines solchen Rollators beauftragt. Im Gegensatz zu den aktuell auf dem Markt existierenden Modellen soll dieser Rollator sehr intuitiv zu bedienen sein, bei Bergabfahrten aktiv bremsen und bei Steigungen aktiv unterstützen. Der erste Entwurf war grundsätzlich funktionsfähig, aber die Steuerung war zu wenig benutzerfreundlich.

Zur Optimierung des ersten Vehikels wurde deshalb eine zweite Gruppe mit den Studierenden Luca Weber und Dominic Berz mit der Fortführung dieses Projekts beauftragt. Im Fokus stand neben der Verbesserung der Steuerung die

kritische Prüfung des bestehenden Modells und eine effiziente Stufenüberwindung im Projektauftrag. Weiter wurde das Kurvenfahren aufgenommen.

## **Umsetzung**

An erster Stelle stand somit eine Stärken-Schwächen-Analyse. Diese ergab, dass man mit dem Grundgerüst des Rollators weiterarbeiten kann, die Nebenmotoren auch wiederverwertbar sind, die Motorencontroller jedoch ersetzt werden müssen, die Regelung überarbeitet werden muss, die Eingabemöglichkeiten intuitiver zu gestalten sind und die Griffe mit zusätzlichen Totmannschaltern auszurüsten sind.

Die intuitive Eingabe der Geschwindigkeit des Rollators wurde über Drucktaster gelöst, je einen rechts und einen links. Damit kann die Geschwindigkeit per Tastendruck erhöht oder vermindert werden. Da beim Kurvenfahren unterschiedliche Radgeschwindigkeiten nötig sind, hat man die beiden Bremsen einbezogen. Sofern die linke Bremse ange-

tippt wird, verringert sich die Geschwindigkeit des linken Rades. Je länger die Betätigung der Bremse, desto stärker ist die Geschwindigkeitsreduktion und der Kurvenradius nimmt somit ab. Wenn die Bremse losgelassen wird, wird diese langsamere Geschwindigkeit am einen Rad beibehalten und der Rollator fährt weiterhin diese Kurve. Möchte man wieder geradeaus fahren, muss die Drucktaste betätigt werden. Dies ist dann noch so gestaltet, dass beim Drücken auf die rechte Drucktaste die Geschwindigkeit des rechten Rades für beide Räder übernommen und beim Drücken der linken Drucktaste die Geschwindigkeit des linken Rades.

Eine weitere Änderung in der Mechanik erfolgte einerseits durch den behelfsmässigen Einbau von Drehgebern auf den Rädern, da die vorhandenen Motoren über keine Drehgeber verfügen, sowie andererseits einer weiteren Versteifung des Grundgestells.

Die Steuerung wurde komplett neu entworfen. Die bestehenden Nabenmotoren werden mit jeweils einem Motorcontroller ESCON 50/5-Regler von Maxon betrieben. Als zentrale Steuereinheit dient ein Arduino MEGA Microcontroller. Hier werden die Eingangssignale der Sensoren der Stufenüberwindung, der Drucktaster zur Bestimmung der Geschwindigkeit, der Bremshebel und die Totmann-Kontakte eingelesen und verarbeitet. Als Ausgangssignal wird ein Geschwindigkeits-Sollwert an die Motorencontroller weitergegeben. Über die die beiden Drehgeber an den Rädern wird mittels Flanken-zählung die Geschwindigkeit bestimmt.

Wenn der Rollator still steht und die Totmannschalter gedrückt sind, kann man ihn frei mit der Hand hin- und her bewegen, ohne dass die Motoren eine Kraft aufbauen müssen bzw. dagegen arbeiten. Also kann man den Rollator auch komplett ohne Motorenunterstützung verschieben. Sofern man dann die Motorenunterstützung hinzuschalten möchte, wird durch Betätigen des Drucktasters die aktuelle Geschwindigkeit übernommen.

Ein zweiter Mikrocontroller dient zur Anbindung eines kleinen LCD-Displays, das verschiedene Parameter anzeigt. Für die Stufenüberwindung dienen die beiden Drucktaster und ein Ultraschall Distanzsensor. Werden die Taster gleichzei-

tig gedrückt, prüft der Ultraschallsensor, ob eine Stufe vorhanden ist. Danach wird eine Radumdrehung der (hinteren) Antriebsräder eingeleitet mit erhöhtem Drehmoment, das die Vorderräder dazu veranlassen soll, das Hindernis zu überwinden. Falls dies nicht erfolgreich war, veranlasst die Steuerung einen erneuten Versuch. Sofern die Überwindung erfolgreich war, können durch nochmaliges gleichzeitiges Drücken der Taster die Hinterräder zu einer nochmaligen Umdrehung veranlasst werden, um auch sie über das Hindernis zu bringen. In der Praxis zeigte sich allerdings, dass dieses Verfahren noch nicht in allen Situationen optimal ist und hier noch Verbesserungspotential besteht.

### **Fazit und Ausblick**

Nebst der erwähnten Stufenüberwindung ist dieser Rollator ein gelungenes Funktionsmuster, um aufzuzeigen, wie man einen Rollator elektrifizieren kann und wie eine intuitive Bedingung für Personen, die noch über genügend motorische Fähigkeiten verfügen, bereitgestellt werden kann. Im Gegensatz zu vielen anderen Modellen kann mit diesem Rollator die jeweils passende Geschwindigkeit eingestellt werden. Die Parameter wie Maximalgeschwindigkeit, Stufenschritte etc. sind konfigurierbar. Der Rollator ist robust gebaut und kann somit auch Unsicherheiten im Gang abfangen. Weiterhin bietet er auch die Funktionen eines klassischen Rollators wie z. B. die Sitzfläche. Die grösste Erleichterung des Rollators stellen aber die Unterstützung beim Bergauffahren und die aktive Bremsung beim Bergabfahren dar. Mit diesem Rollator können z.B. auch grössere Einkäufe problemlos transportiert werden.

### **Projektteam**

Dominic Berz, Student Systemtechnik,  
dominic.berz@students.fhnw.ch  
Luca Weber, Student Systemtechnik,  
luca.weber@students.fhnw.ch

### **Projektbetreuer**

Prof. Bruno Stuber, emer. Professor und Dozent für Signalverarbeitung, bruno.stuber@fhnw.ch  
Joachim Villinger, Master of Science in Engineering (MSE),  
Dipl.-Volkswirt, joachim.villinger@web.de



Abbildung 3: Griff mit Totmannschalter, Bremshebel und Drucktaster

# Ersatz von konventionellen Wandlern durch Sensoren in Mittel- und Hochspannungsanlagen

Die Digitalisierung hält auch in der Energiebranche Einzug. Durch die Einführung von nicht-konventionellen Wandlertechnologien entstehen neue Möglichkeiten, aber auch neue Gefahren. In einer Masterarbeit im Rahmen des Weiterbildungsstudiengangs MAS Automation Management hat Christian Voser - von EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich) - untersucht, was die Chancen und Risiken der neuen Sensortechnologien sind. Für den innovativen Energieversorger und Servicedienstleister EKZ ist dies wichtig, um die aktuelle Marktsituation einschätzen zu können und einen allfälligen Einstieg in diese zukunftsorientierte Technologie nicht zu verpassen.

**Christian Voser**



Abbildung 1: konventionelle Spannungswandler einer 110kV gasisolierten Schaltanlage

## **Ausgangssituation**

Zur Steuerung und Überwachung, sowie zum Schutz der Stromversorgung müssen Spannung (16kV oder 110kV) und Strom (bis 1200A) gemessen werden. Die heute eingesetzten Wandler - die auf dem Prinzip des Transformators beruhen - sind gross, teuer, schwer und in gewissen Situationen sogar ein Gefahrenpotential. Neue, nicht-konventionelle Wandler mit digitaler Informationsübertragung ermöglichen neue Lösungen, die viele Vorteile bringen können. Sie

sind leichter, kleiner, sicherer und bieten Messeigenschaften (Sättigung, Linearität, Übertragungsverhalten), die mit konventionellen Wandlern nicht erreichbar sind. In der Masterarbeit wurden Grundlagen für Analysen und Entscheidungen erarbeitet und mögliche Umsetzungsvarianten vorgeschlagen.

## **Grundkonzepte für den Einsatz von Sensoren:**

So verschieden die Hersteller, so unterschiedlich sind die Angebote an Sensoren und der entsprechend notwendigen Peripherie. Die unterschiedlichen Sensortechnologien werden auch in Kombinationen (z.B. kapazitiver Spannungsteiler mit einem nachfolgenden optischen Sensor) eingesetzt für Hoch- und Mittelspannungsanlagen. Bei allen werden aber zur Auswertung der Messgrößen und zur Umsetzung auf Kommunikationsprotokolle elektronische Komponenten benötigt. Diese beeinflussen die Verfügbarkeit des Gesamtsystems. Bei genauerer Betrachtung existiert diese Kommunikationskomponente auch in der aktuell eingesetzten Technologie, nur befindet sich diese im Schutzgerät selbst (siehe Abbildung 2). Auch heute kann ein Ausfall einer Messkarte eines Schutzgeräts die komplette Schutzaufgabe beeinträchtigen oder sogar verunmöglichen. Wenn nun aber die Messwerte von Wandlern oder Sensoren - das spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle - zentral eingelesen werden und über einen Prozessbus an diverse Schutzgeräte verteilt werden, dann beeinflusst der Ausfall einer Umsetzeinheit alle Schutzgeräte, die von diesem Messwert abhängig sind. Ebenfalls ist eine hochpräzise Zeitsynchronisation aller Geräte essentiell, damit die über das Kommunikationsprotokoll übertragenen Messwerte zeitlich korrekt eingeordnet werden können. Die genaue Fehleranalyse ist somit ein zentraler Punkt, um sicherzustellen, dass durch die neue Technologie die Verfügbarkeit der Schutzsysteme und somit die Personensicherheit nicht reduziert werden.

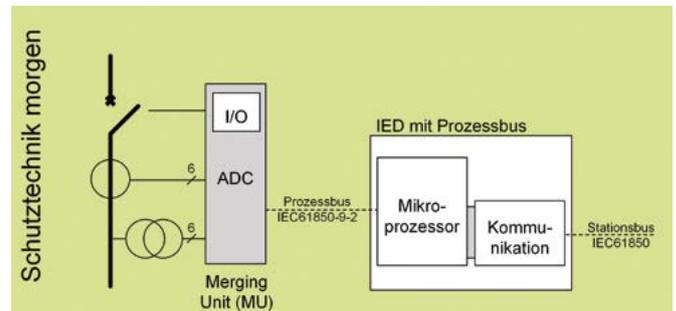
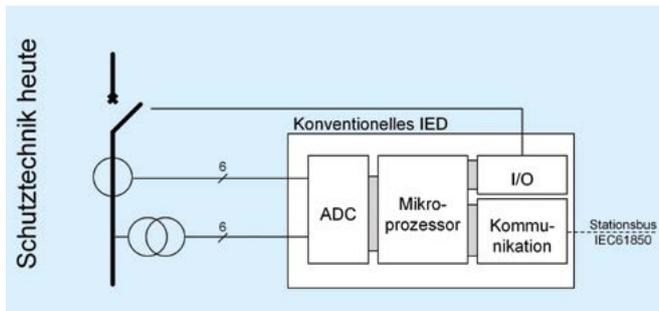


Abbildung 2: Der Weg vom Schutzgerät von heute zu dem von morgen

Die von den Sensoren erfassten Messwerte sollen zukünftig möglichst nahe am Prozess digitalisiert werden. Wie die Abbildung 2 zeigt, beschränkt sich die prozessnahe Digitalisierung nicht nur auf die Erfassung von Messwerten, sondern wird auch für die Steuerung und Auslösung des Leistungsschalters eingesetzt. Als Sensoren kommen hauptsächlich die folgenden Typen zum Einsatz:

- Optische Stromsensoren
- Optische Spannungssensoren
- Rogowski Stromsensoren
- Kapazitive und resistive Spannungsteiler

#### Kleinsignal-Schnittstelle

Für Mittelspannungsanlagen existieren Sensoren, die nicht über ein Kommunikationsprotokoll die Messwerte übermitteln, sondern als analoges Kleinsignal. Dies wird über ein - zum Sensor gehörendes - Kabel dem Schutz- oder Steuergerät zugeführt. Für Messdaten die in kurzer Entfernung (beispielsweise in Mittelspannungsanlagen im selben Feld) erfasst werden, ist dies eine gute Lösung, um keine aufwändige Kommunikationsinfrastruktur aufbauen zu müssen. Möglichkeiten, die Messdaten mehreren Schutzgeräten in der Anlage zur Verfügung zu stellen, entfallen jedoch bei dieser Technologie.

#### Sensor ist nicht gleich Sensor

Es ist jedoch zu beachten, dass viele Hersteller ihre aktuellen Wandler mit Kleinsignalanbindung ebenfalls als Sensoren bezeichnen, obwohl diese weiterhin auf dem Prinzip des konventionellen Transformators basieren und nicht die Vorteile von waschechten Sensoren bieten. Hier ist das angebliche sensorbasierte Produkt immer zu hinterfragen und Kennlinien, elektrische Kenndaten, sowie Funktionsprinzip genau zu studieren.

Es sind technische, ökonomische und betriebliche Vorteile, die in spezifischen Situationen von grossem Nutzen sein können und einen Sensoreinsatz sinnvoll machen. Die Entscheidungen müssen situativ, projektspezifisch und vor allem mit dem nötigen Hintergrundwissen bezüglich Sensortechnologie gefällt werden. EKZ hat sich nun dieses Wissen angeeignet und kann dementsprechende Entscheidungen fällen.

Die Digitalisierung wird in diesem Bereich weiter Einzug halten. Aber alles steht und fällt mit der Nachfrage der Technologie durch die Energieversorgungsunternehmen und der Industrie, was wiederum Auswirkungen auf den Preis hat. Es handelt sich also um eine Wechselwirkung zwischen der Nachfrage und den Preisen. Ausserdem ist es absolut essentiell, dass die Technologie die Akzeptanz der Netzbetreiber gewinnt und dies geschieht nicht automatisch, sondern erfordert von den Anbietern viel Effort. Der Zusatznutzen muss dem Betreiber klar ersichtlich werden, denn ansonsten ist die jahrelange Erfahrung mit den konventionellen Systemen - inklusive dem Ersatzmaterial, dem Fachpersonal, den Prozessen - weiterhin mehr wert als eine modernere Technologie.

Durch diese Masterarbeit wurde wertvolles Wissen aufgebaut, um im Gebiet der Sensortechnik für Hoch- und Mittelspannungsanlagen künftig Herstellerinformationen hinterfragen und korrekt einordnen zu können.

#### Masterarbeit MAS Automation Management

Christian Voser, BSc FHNW in Elektrotechnik,  
Masterstudierender  
Prof. Dr. Jürg P. Keller, Leiter MAS Automation  
Management, juerg.keller1@fhnw.ch

# Motivation für MINT

Schülerinnen und Schüler für MINT-Fächer zu begeistern, gehört zu wichtigen Aufgaben der technischen Gesellschaft. Beim First Lego League Wettbewerb 2018/19 «INTO ORBIT» untersuchen Jugendliche Aspekte zum Thema «Leben und Reisen im Weltraum».

**Raphael Waltenspül**



Im Zusammenhang mit Lego-Robotik hört man verschiedentlich Eltern klagen, dass ihre Kinder sich mit viel Begeisterung ein Robotik Set wünschen - ist der sehnliche Wunsch doch endlich erfüllt, wandert das ganze Set viel zu schnell zur Seite. Nur in Ausnahmefällen entwickelte sich die Robotik zu einem Hobby. Woran liegt das? Diese Frage wäre sicher ein interessantes und wesentliches Thema für eine systematische Untersuchung. Da mir keine solche Untersuchung bekannt ist, kann ich hier nur Vermutungen anstellen. Denn beim First-Lego-League-Wettbewerb finden wir Jugendliche, die sich die Lego-Robotik zum Hobby gemacht haben. Da wir den Anlass bereits seit 14 Jahren durchführen, durften wir miterleben, wie viele von ihnen später den Weg in einen technisch-naturwissenschaftlichen Beruf gefunden haben.

Spielt man alleine oder bestenfalls mit einem Kollegen mit Lego-Robotik, so fehlen meiner Meinung nach drei wesentliche Aspekte, welche massgeblich für die Motivation sind. Der erste Aspekt ist ein Publikum, welches die entwickelte

Lösung gebührend würdigt. Der zweite Aspekt sind Wettbewerbe, an denen die Güte der Lösungen gemessen und verglichen wird. Der dritte und in diesem Alter wohl prägendste Aspekt, ist das Teamerlebnis.

Ein paar Gedanken zu den einzelnen Aspekten. Ein Musiker wird nicht lange auf seinem Instrument üben, wenn er nirgendwo eine Gelegenheit hat, mit seinem Können ein Publikum zu erfreuen. Nur durch das Feedback der Zuhörer motiviert, wird er weiter an seinen Fähigkeiten arbeiten. Wo gibt es ein Publikum für Robotik-Tüftler? Ein First-Lego-League-Wettbewerb bietet hier eine kleine Arena von Gleichgesinnten und Familienangehörigen. Leider bleiben Robotik-Wettbewerbe trotz Erstar-





Abbildung 1: Robot Game, First-Lego-League 2019

ken der «Nerd-Kultur» eine Randerscheinung und erlangen kaum medial Aufmerksamkeit.

Der zweite Aspekt der Wettbewerbe ist ein Antreiber und fördert die Motivation dahingehend, auf ein Ziel hin zu arbeiten. Die Ziele und Rahmenbedingungen sind klar definiert. Für die vorgegebenen kniffligen Aufgaben muss eine Lösung gefunden, die dazu nötigen Werkzeuge gebaut und eine Software programmiert werden. Es gilt das gesamte System dahingehend zu optimieren, dass es am Wettbewerbstag auch robust funktioniert. Mit einem gesetzten Ziel und einem vorgegebenen Termin ist klar, dass zielstrebig auf eine Lösung hingearbeitet werden muss.

Hier kommt auch der dritte Aspekt zum Tragen, nämlich das Teamerlebnis. Harmoniert das Team gut, so freut man sich auf das gemeinsame Entwickeln, kann gemeinsam Erfolge feiern und sich bei Misserfolgen stützen. Diese Momente



Abbildung 2: Team präsentiert die Ergebnisse seiner Forschung, First-Lego-League, 2019.

schweissen ein Team zusammen, lässt Freundschaften entstehen und geben so der technisch vollbrachten Leistung eine emotionale Komponente.

In verschiedenen Kantonen gezielt und im Lehrplan 21 nach Gutdünken der jeweiligen Lehrperson werden technisch-naturwissenschaftliche Fächer in Schulfächern eingeführt. Soll dies nachhaltig sein, so sind aufgrund der oben genannten Gründe auch Wettbewerbe nötig. (Angemerkt sei, dass dies Mathematiker schon längere Zeit erkannt haben und an vielen Schulen Mathematikmeisterschaften durchgeführt und unterstützt werden.)

An der FHNW am Institut für Automation organisieren wir seit 14 Jahren First-Lego-League-Wettbewerbe. Gruppen von 3-10 Jugendlichen im Alter von 10-16 Jahren zeigen, was sie im vergangenen Jahr für den Wettbewerb vorbereitet haben. Dazu bauen und programmieren sie einen Wettbewerbsroboter, der möglichst viele der im Voraus bekannten Aufgaben auf einem Spieltisch lösen kann. Zudem machen sie eine Forschungsarbeit, dieses Jahr zum Thema «INTO ORBIT, Leben und Reisen im Weltraum». Die Resultate der Arbeit werden am Wettbewerb in einer Präsentation vorgestellt.

Wir hoffen auf weiterhin viele technikbegeisterte Kinder und Jugendliche. Mit dem First-Lego-League Wettbewerb wollen wir unseren Beitrag dazu leisten und hoffen so, dass MINT-Fächer und Wettbewerbe weiter Einzug in die Klassenzimmer halten.

#### Team

Prof. Dr. Jürg P. Keller, juerg.keller1@fhnw.ch  
 Raphael Waltenspül, raphael.waltenspuel@fhnw.ch  
 Moritz Wiss, moritz.wiss@fhnw.ch

# Studierendenprojekte und Bachelor-Thesen

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

<b>Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung</b>	<b>Auftraggeber/Partner</b>	<b>Advisor</b>	<b>Studierende</b>
Erkennung von Rotwild in Feldern und Wiesen	FHNW, Institut für Automation	Mastellone Silvia Villinger Joachim	Stocker Raphael
Druckschätzer einer Hochdruckwasserstrahlschneid-Pumpe	Jet Cut Power GmbH	Anderegg Roland Niederberger Stefan	Angst Mischa
Verbrennungsregelung und Automation mittels Bildverarbeitung	Bürge-Fischer AG	Gaulocher Sebastian Treyer Daniel	Märki Vincent
Interface zur Integration von Gasqualitätsmessgeräten	Glutz AG	Anderegg Roland Read Patrick	Brütsch Samuel
Grundlagenermittlung zur Entwicklung eines Einzelraumreglers	SCHAKO Ferdinand Schad KG	Eichin Heinz	Zimmermann Nicolas
Kommunikation in modernen Aufzugssystemen	Schindler Aufzüge AG	Eichin Heinz	Burri Marcel
Spuralgorithmus für den maschinellen Asphalteinbau	Ammann Schweiz AG	Anderegg Roland	Haliti Mendim
Drahtloses Kommunikationssystem für digitales Handwerkzeug	Otto Suhner AG	Anderegg Roland Read Patrick	Frei Mattia
Automatisierte Aufnahme von Magnetisierungskurven	Pfiffner Messwandler AG	Gysin Hans	Lüscher Moritz
Modernisierung eines Leistungsprüfstandes für Motorräder	SOS - Sound of Single Motorradwerkstatt	Eichin Heinz	Burgener Julian
Entwicklung automatischer Messverfahren zur Sedimentationsanalyse	UNI Basel, Physiogeographie & Umweltwandel	Sekler Jörg	Wyss Esther
Entwicklung einer solid-state Kühlvorrichtung und solaren Beleuchtungseinheit	UNI Zürich, Med. Fakultät & SLSL c/o NASA Kennedy Ctr	Sekler Jörg	Mehles Claus
Kontinuierlicher Auslesealgorithmus für Pixel-Detektor zu Strahlentherapieanlage	PSI – Paul Scherrer Institut, Zentrum für Protonentherapie	Sekler Jörg	Jampen Philipp
Roboter-Programmierung für die Bearbeitung von Gussteilen	Christenguss AG	Niederberger Stefan Füglister Matthias	Koller Gerold
Steuerung für einen mobilen Roboter zur Bombenberingung	RUAG Schweiz AG	Anderegg Roland Treyer Daniel	Fluck Luca
G-Code Analyzer zur Steuerung von Laserbearbeitungsmaschinen	FHNW, Institut für Automation	Anderegg Roland Ruch Basil	Bur Patrick
Leitsystem für einen mobilen Roboter zur Bombenberingung	RUAG Schweiz AG	Anderegg Roland Treyer Daniel	Anthony Gauttham
Strukturelastische Roboterdynamik	FHNW, Institut für Automation	Anderegg Roland Hüni Jonathan	Bucher Thomas
Interface zur Integration von Gasqualitätsmessgeräten	MEMS AG	Binggeli Daniel	Brütsch Tobias
Diagnosesystem für Abwasserreinigungsanlagen	Chestonag Automation AG	Zogg David Amport Hannes	Thierer Steffen
Arealnetz mit verteilter Intelligenz und KNX-Integration	Smart Energy Control GmbH	Zogg David Germann Silvano	Waltenspül Raphael
Automatisierte Produktionsumstellung im Schneidermodul CS8	Hunkeler AG	Anderegg Roland	Hürzeler Bruno
Optimierung Zugsicherungssystem ZUB 262 bei SBB Cargo	SBB Cargo	Gaulocher Sebastian Read Patrick	Kienberger Armin
Klimakammerregelung	FHNW, Institut Energie am Bau	Eichin Heinz Ackermann Chr.	Jordan Fabian
Messsystem zur Überwachung und Auswertung der elektrischen Dauerlaufversuche von Schützen	Rockwell Automation Switzerland GmbH	Gysin Hans	Alber Florian
Entwicklung und Bau eines Gerätes zur Wertästung	FHNW, Institut für Automation	Anderegg Roland Villinger Joachim	Hunziker Michael
Eigenverbrauchsoptimierung mit Inverter-Wärmepumpe von CTA	Smart Energy Control GmbH	Zogg David Germann Silvano	Stuedler Nathan

Real-Time-Simulator der Traktion Systeme	ABB, Transportation	Mastellone Silvia	Gonzales Adrian
Automatisierung eines Handprozesses	SpectraFlow Analytics Ltd	Gaulocher Sebastian Steger Jan	Helfenfinger Simon
Show-Roboter für aufladbare Knopfzellen	Renata SA	Keller Jürg P.	Dietemann Tobias
Digitale Zwillings für einen optimierten Entwicklungsablauf	Siemens Schweiz AG	Binggeli Daniel	Kaufmann Silvio
Selbstadaptierender PID-Regler für die Gebäudeautomation	Honeywell AG	Keller Jürg P.	Gessler Alex
Magnetische Spritznadelerkennung	WILCO AG	Keller Jürg P. Umbricht Stefan	Leuenberger Philipp
Robotergestütztes Kappenentfernen vor AOI Prozess	IfTest	Anderegg Roland Füglister Matthias	Doggwiler Christoph
Kamerasystem zur optischen Schnurerkennung einer Plattenladungssicherung	Born Schweiz AG	Keller Jürg P.	Corti Steve
Software zur Analyse der Dynamik im Knie	FHNW, Institut für Automation	Mastellone Silvia Genter Jeremy	Schrittwieser Noah
Engineering für kollaborative Roboter- Entwicklung von Use-Cases	FHNW, Institut für Automation	Edelmann Max Füglister Matthias	Brodmann David
Kamerasystem zur optischen Schnurerkennung einer Plattenladungssicherung	Born Schweiz AG	Keller Jürg P.	Karlen Roger
Möglichkeiten Kooperativer Roboter in der Verpackungsindustrie	Proderma AG	Keller Jürg P. Umbricht Stefan	Zeltner Mathias
Technologie zum Ermitteln einer Werkstück-Pose	Christenguss AG	Anderegg Roland Edelmann Max	Dürrenberger Thomas

## Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden

Projektthema	Auftraggeber	Advisor	Studierende
Online-Diagnose von Abwasserreinigungsanlagen zur zustandsbasierten Wartung und Betriebsoptimierung	Chestonag Automation AG	Zogg David	Amport Hannes
NanoFrazor Scholar – hochauflösendes Nanolithographie-Tool für Technologie Einsteiger	SwissLitho AG	Sekler Jörg	Erne Robin
Adaptive Bahnplanung zum mechanischen Trennen von Rohgussteilen	Christenguss AG	Edelmann Max	Füglister Matthias
Modellbildung von modular erweiterbaren Laserbearbeitungsmaschinen	Innosuisse	Edelmann Max	Hüni Jonathan
Digitalisiertes One Shift Battery Tool	Otto Suhner AG	Gysin Hans	Ineichen Stefan
Algorithmus zur Betriebspunkt- und Zustandsklassifizierung einer Kreiselpumpe	CP Pumpen AG	Niederberger Stefan	John Jean-Paul
Modellbasierte mechanische Fertigung: Automatisierte Berechnung der optimalen 3D-Korrekturmassnahmen		Anderegg Roland	Moser Thomas
Systemoptimierung für hochpräzise und hochdynamische Laserbearbeitungssysteme	Class 4 Laser Professionals	Zogg David (Eichin H.)	Ruch Basil
Energieoptimierte Pfadplanung für Flächenflieger in hügeligem Gelände	Tellnet AG	Keller Jürg P.	Umbricht Stefan
Start und Landung eines autonomen Flächenfliegers	FHNW internes Projekt IA	Sekler Jörg (Keller Jürg P.)	Zubler Tobias
Digitale Regelung eines Netzteils für Durchflussmessgeräte	E+H Flowtec AG	Eichin Heinz	Ostgen Lukas
Regelung und Steuerung Single Statio Seamer	Ferrum AG	Schleuniger Pascal	Jordan Fabian
Pythonbasiertes Interface für hochpräzise und hochdynamische Laserbearbeitungssysteme		Anderegg Roland	Märki Vincent
Messtechnische Untersuchung der elektromagnetischen Dämpfung verschiedener, EMV optimierter Kunststoffe	Wagner AG	Schleuniger Pascal	Rotzler Elias
Technologie zum genauen Ermitteln von Werkstück-Posen komplexer Geometrien basierend auf CAD-Daten	Christenguss AG	Anderegg Roland	Waltenspül Raphael
Mess- und Regelungstechnik für intelligente, digitalisierte Biegemaschinen	Häeusler AG	Anderegg Roland	Winkler Noah
Entwicklung der Reglerperformanceüberwachung für das Energy Valve	Belimo AG	Keller Jürg P.	Wiss Moritz
Systemanalyse von Motion Controller für modular erweiterbare Laserbearbeitungsmaschine	Class 4 Laser Professionals	Mastellone Silvia	Zingrich Robin

# Publikationsliste 2018

M. Edelmann, M. Füglistner. "Casting 4.0 VISION OF THE DIGITALIZED FOUNDRY". 73rd World Foundry Congress 23-27 September in Krakow, Polen, Sep. 2018

D. Treyer, S. Gaulocher, S. Niederberger, H. Rafael, G. Frech, and A. Ams, "Diamond Wire Wafering: A Model-Based Evaluation of Different Control Strategies," in Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition EUPVSEC, pp. 331-336, 2018.

S. Niederberger, R. Orjuela, P. Schleuniger, R. Anderegg and M. Basset, "A graph-based modelling methodology for high-pressure networks applied on waterjet machining," *Mechatronics*, 55, pp. 115 – 128, 2018.

T. Besselmann, P. Jörg and S. Van de moortel, "Power Factor Improvements for Load Commutated Inverters," *2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, Copenhagen, 2018, pp. 1-6.

S. Almér, T. Besselmann and M. Schweizer, "Model Based Tuning of Proportional Resonant Controllers for Voltage Source Inverters," *2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia)*, Niigata, 2018, pp. 555-559.

T. J. Besselmann, A. Cortinovis, S. Van De moortel, A.-M. Ditlefsen, M. Mercangöz, H. Fretheim, P. Jörg, E. Lunde, T. Knutsen, T.O. Stava, "Increasing the Robustness of Large Electric Driven Compressor Systems During Voltage Dips," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 2, pp. 1460-1468, March-April 2018.

T. J. Besselmann, S. Almér and P. Jörg, "Torque Harmonic Minimization for Load Commutated Inverters in Pulse Mode," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2018.

A. Cortinovis, M. Mercangöz, T. Besselmann, A.-M. Ditlefsen, T. O. Stava, S. Van de moortel, E. Lunde, "Enabling voltage dip ride-throughs of large electric driven gas compressors," in *Journal of Process Control*, in press, 2018.

J. Sekler, B. Graber, O. Actis, D. Meer, "Krebstherapie am PSI", in *STZ - SWISS ENGINEERING*, Dezember 2017.

J. Sekler, B. Graber, O. Actis, D. Meer, "Traitement du cancer au PSI: le must grâce à l'automatisation", in *RTS - SWISS ENGINEERING*, Mai 2018.

# Konferenzbeiträge 2018

Anlässlich von Konferenzen hielten folgende Mitarbeitende des Instituts für Automation Referate zu ihren Fachgebieten.

Konferenz			Referate des Instituts für Automation
IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA 2018)	21. - 24. August 2018	Scandic Hotel, Kopenhagen, Dänemark	Prof. Dr. Thomas Besselmann «Power Factor Improvements for Load Commutated Inverters»
Symposium, supported by ISSMGE TC211 on 40 Years of Roller Integrated Continuous Compaction Control (CCC)	29. November 2018	TU Wien, Österreich	Prof. Dr. Roland Anderegg «Automatic compaction control - an application of nonlinear Vibration Theory»  <a href="http://www.igb.tuwien.ac.at/ccc/programm-tagungsband">www.igb.tuwien.ac.at/ccc/programm-tagungsband</a>





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](mailto:roland.anderegg@fhnw.ch)

Sekretariat Institut für Automation  
T +41 56 202 75 28, [info.ia.technik@fhnw.ch](mailto: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](mailto:juerg.keller1@fhnw.ch)  
[www.fhnw.ch/mas-automation](http://www.fhnw.ch/mas-automation)

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

[www.fhnw.ch/ia](http://www.fhnw.ch/ia)

## **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: 500 Exemplare