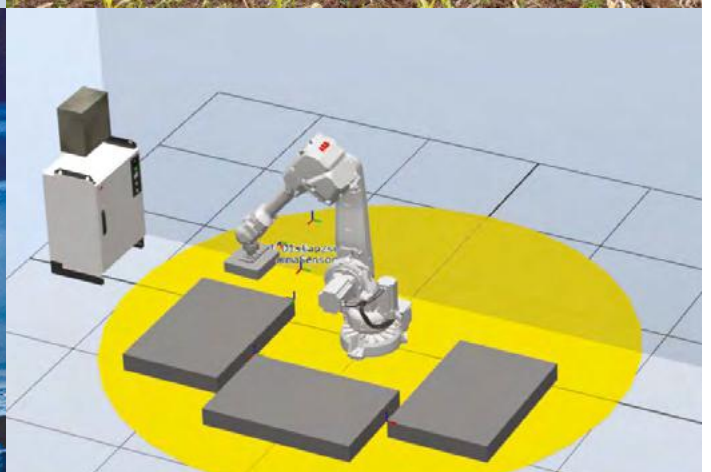
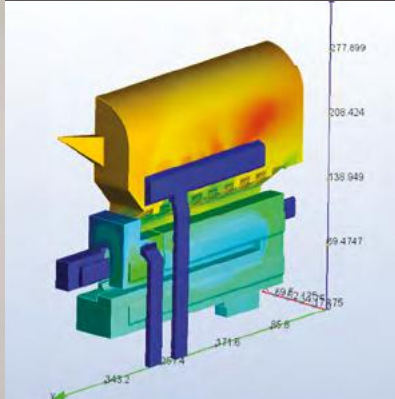
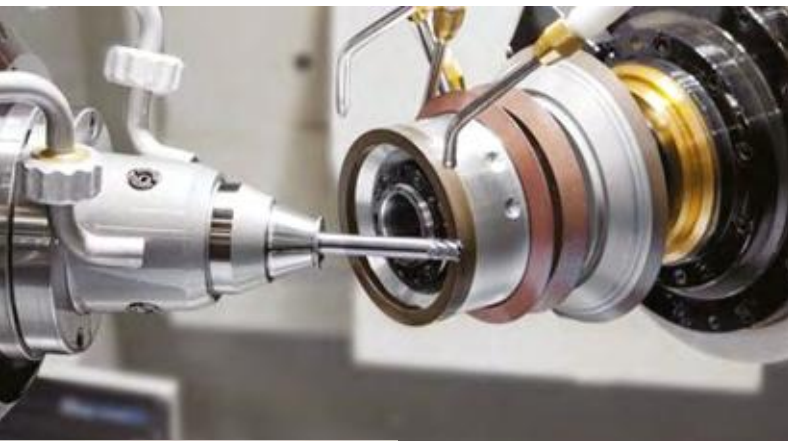




# Tätigkeitsbericht 2024

## Institut für Automation FHNW

Forschungskompetenzen in moderner Regelungstechnik,  
industrieller Automation und Gebäudeautomation sowie  
Mechatronik



**Impressum**  
Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Hochschule für Technik und Umwelt, Institut für Automation  
Layout: Ben Newton, digitworks.ch  
Erscheinungsweise: jährlich  
Auflage: 200 Exemplare

# Inhalt

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Editorial</b>                                                                                                                                             | 3  |
| <b>Forschungskompetenz Moderne Regelungstechnik</b>                                                                                                          |    |
| <b>1D-Simulationsverfahren für die vereinfachte Entwicklung von SF<sub>6</sub>-freien Hochspannungs-Leistungsschaltern</b><br>Martin Pischtschan             | 4  |
| <b>Modellierung und Identifikation einer Maschine für die Verschweissung von Laminattuben</b><br>Basil Ruch                                                  | 7  |
| <b>Verbesserung der Lebensdauer der Ausmauerung bei Elektrokremationsöfen</b><br>Daniel Jakober                                                              | 10 |
| <b>Forschungskompetenz Industrielle Automation und Gebäudeautomation</b>                                                                                     |    |
| <b>Intelligente Verschleisserkennung bei Zerspanungswerkzeugen</b><br>Marius Lerf                                                                            | 12 |
| <b>Kollisionsfreie robotische Bahnplanung zur automatisierten, radiologischen Charakterisierung von Bauteilen am Paul Scherrer Institut</b><br>Claude Wenger | 14 |
| <b>SmartGridready Testlabor</b><br>Christian Zeltner                                                                                                         | 16 |
| <b>Forschungskompetenz Mechatronik</b>                                                                                                                       |    |
| <b>Roboter unterstütztes Multi-Material Ultraschall Schweißen</b><br>Wolfgang Fischer                                                                        | 18 |
| <b>IoT Messelektronik zum Erfassen von Prozesskräften</b><br>Pascal Schleuniger                                                                              | 20 |
| <b>Hackobot: ein mechanischer Unkrautvernichter für die industrielle Landwirtschaft</b><br>Thomas Kuhn                                                       | 24 |
| <b>Robot Hub Academy</b><br>Daniel Treyer                                                                                                                    | 26 |
| <b>Weitere Themen</b>                                                                                                                                        |    |
| <b>Funktionsprüfanlage für EDS-Geräte</b><br>Jürg Peter Keller                                                                                               | 28 |
| <b>FIRST LEGO League: "MASTERPIECE"</b><br>Thomas Kuhn                                                                                                       | 30 |
| <b>Weiterentwicklung des Vision Systems für CUBORO Kugelbahn</b><br>Haris Mehinovic                                                                          | 32 |
| <b>Publikationsliste und Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden</b>                                                                                     | 35 |
| <b>Bachelor-Thesen</b>                                                                                                                                       | 36 |



## Editorial

### **Geschätzte Leserin, geschätzter Leser,**

Wir freuen uns, Ihnen im vorliegenden Bericht den Stand einer Auswahl von Projekten unseres Instituts vorzustellen.

Wir danken an dieser Stelle unseren Projektpartnern für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und freuen uns auf die künftige Kooperation.

Im Rahmen der Ausbildung durfte unser Institut den Unterricht in den Studiengängen Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektro- und Informationstechnik und Energie- und Umwelttechnik wahrnehmen. In der Weiterbildung hat das Institut für Automation einen wesentlichen Beitrag im MAS Automation Management geleistet.

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

Mit freundlichen Grüßen

Für das Team

Roland Anderegg  
Institutsleiter

# 1D-Simulationsverfahren für die vereinfachte Entwicklung von SF<sub>6</sub>-freien Hochspannungs-Leistungsschaltern

Martin Pischtschan

Die Pfiffner Gruppe arbeitet an der Entwicklung eines SF<sub>6</sub>- und fluorgasfreien, gasisolierten Hochspannungs-Leistungsschalters (GIS, Gas-Insulated Switchgear) für den Einsatz in Schaltanlagen in Umspannwerken. Für die Entwicklung solcher Schalter sind Simulationen unerlässlich. Dabei werden oft zeit- und ressourcenintensive numerische Verfahren verwendet. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine 1D Simulationsumgebung entwickelt, welche es ermöglicht, vielversprechende Designparameter schnell und flexibel zu untersuchen, bevor umfangreichere Tools verwendet werden.

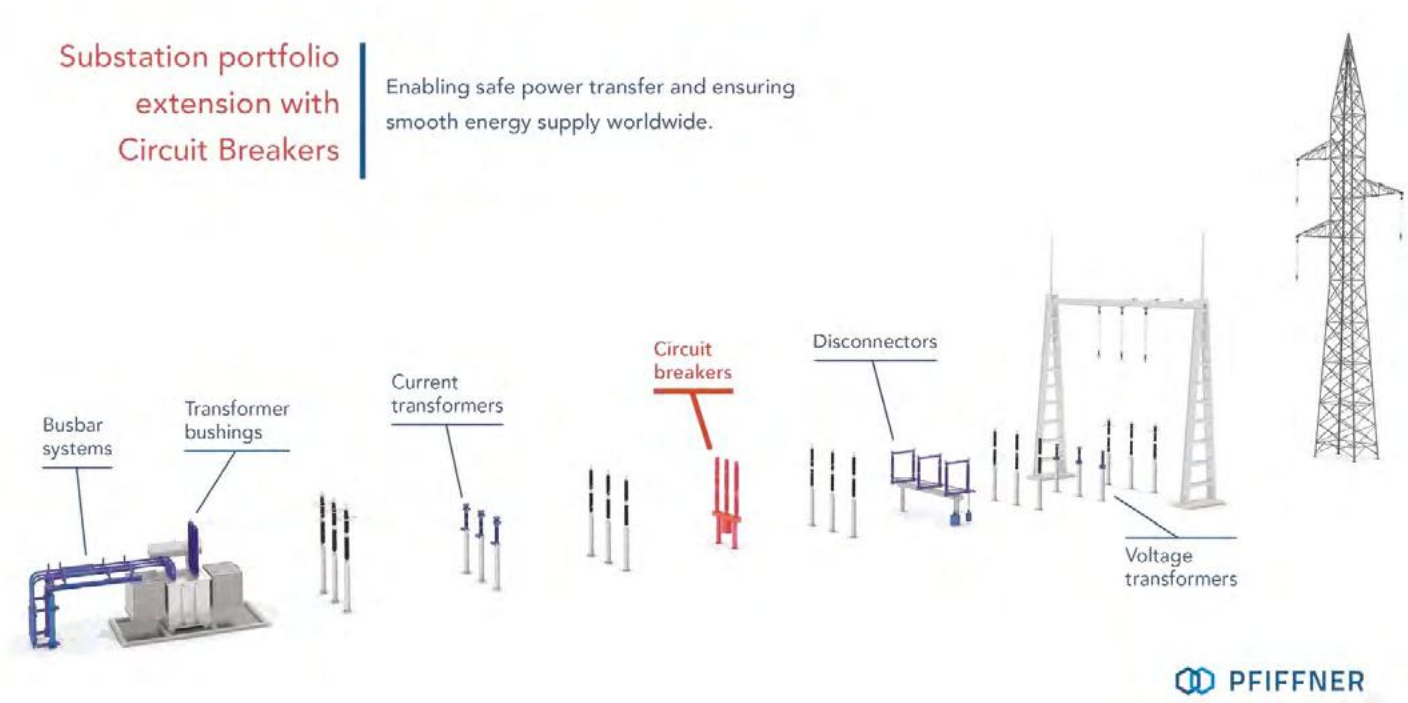


Abbildung 1: Produktportfolio der Pfiffner Group (Quelle: Fr. Pfiffner)

### Ausgangslage

Der Übergang von SF<sub>6</sub> zu nachhaltigeren Gasen wie CO<sub>2</sub> in Hochspannungs-Leistungsschaltern erfordert aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften des Lichtbogenlöschgases neue konstruktive Anpassungen. 2D- und 3D-Fluiddynamikmodelle liefern zwar detaillierte Analysen, sind jedoch ressourcen- und rechenintensiv und für die ersten Entwurfsphasen weniger geeignet. In diesem Projekt wird ein vereinfachter Simulationsansatz unter Verwendung alternativer Gasdaten untersucht, wobei der Druck innerhalb des Heizvolumens als Schlüsselparameter für die Analyse im Mittelpunkt steht. Die Vorteile eines solchen vereinfachten Modells liegen in der Flexibilität und der kurzen Berechnungszeit. Dies ermöglicht schnelle Iterationen, bevor komplexere Simulationen eingesetzt werden.

### Funktionsweise eines Leistungsschalters

Ein Leistungsschalter sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- In geschlossener Position ist er ein guter Leiter
- In offener Position verhält er sich als guter Isolator zwischen den Systemteilen
- Der Übergang von der geschlossenen zur offenen Position erfolgt in sehr kurzer Zeit

Die Funktionsweise eines Leistungsschalters soll anhand von Abbildung 2 genauer beschrieben werden.

Während des Normalbetriebs ist der Schalter geschlossen und der Strom fließt über den Hauptkontakt (1). Im Fehlerfall wird der Stromfluss auf die Lichtbogenkontakte

umgeleitet, die kurz darauf geöffnet werden (2), woraufhin sich ein Lichtbogen zwischen diesen Kontakten bildet (3). Dieser Lichtbogen besteht aus einer heißen und leitfähigen Plasmasäule. Ein Löschen des Lichtbogens ist lediglich im Nulldurchgang des Stromes realisierbar, da zu diesem Zeitpunkt die Energie am geringsten ist. Zusätzlich wird der Lichtbogen durch intensive Gasströme entlang des Lichtbogens gekühlt und somit zusätzlich Energie entzogen, (4). Hierbei wird so viel Energie entzogen, dass ein entionisiertes Gebiet mit hoher dielektrischer Festigkeit zwischen den Schaltkontakten entsteht, sodass nach dem Löschen des Lichtbogens

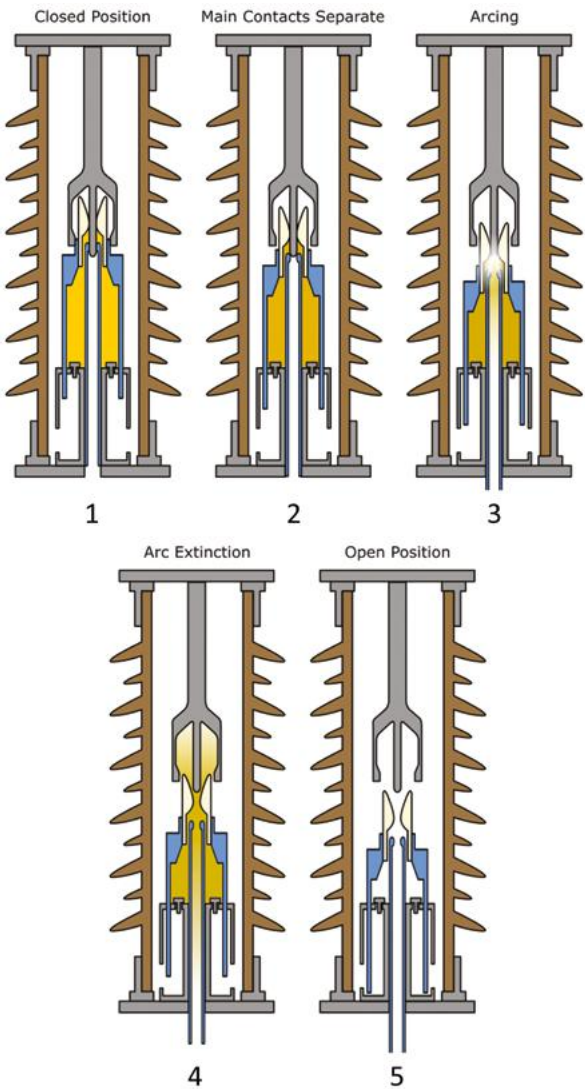


Abbildung 2: Funktionsweise eines Leistungsschalters

im Stromnulldurchgang keine Neuzündung durch die anliegende Spannung stattfindet. Ist dies der Fall, so ist der Schalter geöffnet und der Kontakt unterbrochen (5).

### Software

Die Simulation von Hochleistungsschaltern umfasst in der Regel komplexe multiphysikalische Systeme, die verschiedene physikalische Phänomene wie Mechanik, Thermodynamik und Fluidodynamik vereinen. Aus diesem Grund wurde das Gesamtsystem in vereinfachte Teilsysteme unterteilt. Die einzelnen Teilsysteme können über ein benutzerfreundliches GUI (Graphical User Interface) angepasst werden (siehe Abbildung 3.). Dies ermöglicht eine einfache Parametereinstellung durch den Nutzer. Das Tool generiert automatisch Plots zur Visualisierung der Ergebnisse, während die Daten gleichzeitig für spätere Analysen in einer Datei abgespeichert werden können. Zusätzlich hat das Tool eine eingebaute Vergleichsfunktion, welche es ermöglicht, direkt einzelne Simulationen miteinander zu vergleichen. Das gesamte Tool wurde vollständig in Python entwickelt.

### Simulationsergebnisse

Um das 1D-Modell zu validieren, wurden die Simulationen mit realen Messungen verglichen. Einer der Hauptparameter, welcher für eine erfolgreiche Löschung des Lichtbogens verantwortlich ist, ist der Druck in der Heizkammer. Vereinfacht gesagt: Je höher dieser Druck beim Öffnen des Schalters ist, desto wahrscheinlicher wird der Lichtbogen gelöscht. Aus diesem Grund wurde der simulierte Druck mit dem gemessenen verglichen.

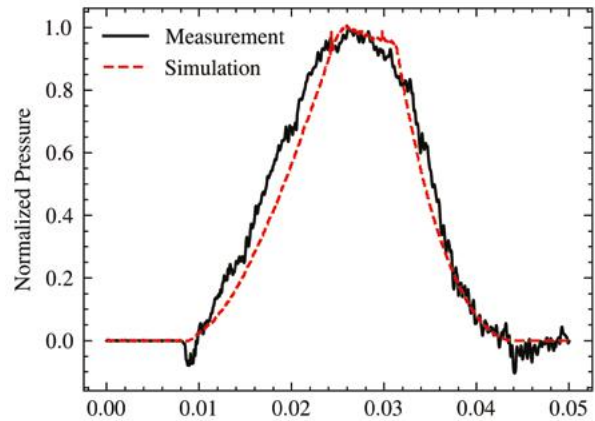


Abbildung 4: Vergleich von gemessenem und simuliertem Druck im Heizvolumen während eines No-Load Versuchs



Abbildung 3: Ausschnitt des GUIs

In Abbildung 4 ist ein No-Load Test abgebildet, in diesem Fall entsteht kein Lichtbogen. Bei diesem Test wird der Druck in der Heizkammer rein mechanisch durch den Öffnungsmechanismus erzeugt. Sowohl der Druckaufbau zu Beginn des Öffnungsvorgangs als auch die maximale Druckspitze werden gut abgebildet. Auch der Druckabfall nach vollständigem Öffnen des Schalters stimmt mit der Messung überein. In Abbildung 5 ist ein L90 Versuch mit einer Lichtbogenzeit von 18.4ms abgebildet. Bei diesem Versuch wird der Schalter mit 90% des Nennstroms belastet und geöffnet. Dabei bildet sich für 18.4ms ein Lichtbogen. Im Vergleich zum No-Load Test sorgt hier der Lichtbogen für zusätzlichen Druckanstieg im Heizvolumen. Auch in diesem Plot stimmen die Simulationsergebnisse gut mit dem maximalen Druck und dem Druckabfall überein. Leichte Abweichungen, während der Druckanstiegsphase, sind auf Vereinfachungen in den modellierten Teilsystemen zurückzuführen.

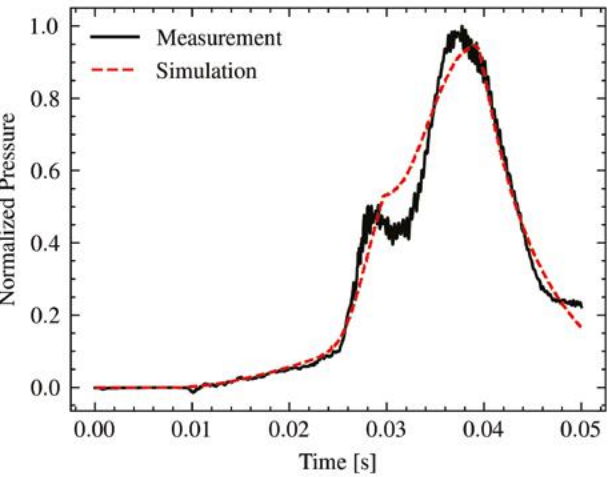


Abbildung 5: Vergleich von gemessenem und simuliertem Druck im Heizvolumen während eines L90 18.4ms Versuchs

**Fazit**

Die Rechenzeit für die verschiedenen 1D-Simulationen, einschliesslich der Verarbeitung durch das GUI, der Speicherung der Ergebnisse und der Diagrammerstellung, lag zwischen 6 und 8 Sekunden. Die Simulationen wurden auf einem Laptop mit einem Intel Core i7-1355U Prozessor mit 1.7GHz und 32GB RAM durchgeführt. Dies zeigt, dass das Tool als erstes Werkzeug für die Entwurfsanalyse effektiv ist und nützliche Einblicke liefert, bevor komplexere Simulationstechniken wie 2D- oder 3D-CFD zum Einsatz kommen.

Ein weiterer Vorteil der kurzen Berechnungszeit ist die effiziente Anwendung von Optimierungsalgorithmen. Diese rufen das Modell wiederholt mit unterschiedlichen Parametern auf, bis die optimalen Werte gefunden sind. Durch die reduzierte Berechnungszeit wird die Gesamtdauer der Optimierung erheblich verkürzt.

**Industriepartner**

PIFFNER Messwandler AG

**Projektteam**

Martin Pischtschan (martin.pischtschan@fhnw.ch), Dozent/Projektleiter und Betreuer  
Kilian Pedolin (kilian.pedolin@fhnw.ch), Wissenschaftlicher Mitarbeiter

# Modellierung und Identifikation einer Maschine für die Verschweissung von Laminattuben

Basil Ruch

Die Tubenherstellung hat durch die vielfältigen Einstellmöglichkeiten und unterschiedlichen Lamine eine hohe Regelungskomplexität. Ein detailliertes physikalisches Modell soll erlauben, moderne Regelungsalgorithmen einzusetzen und so eine hohe Prozessstabilität und Verarbeitungsgenauigkeit sicherzustellen.

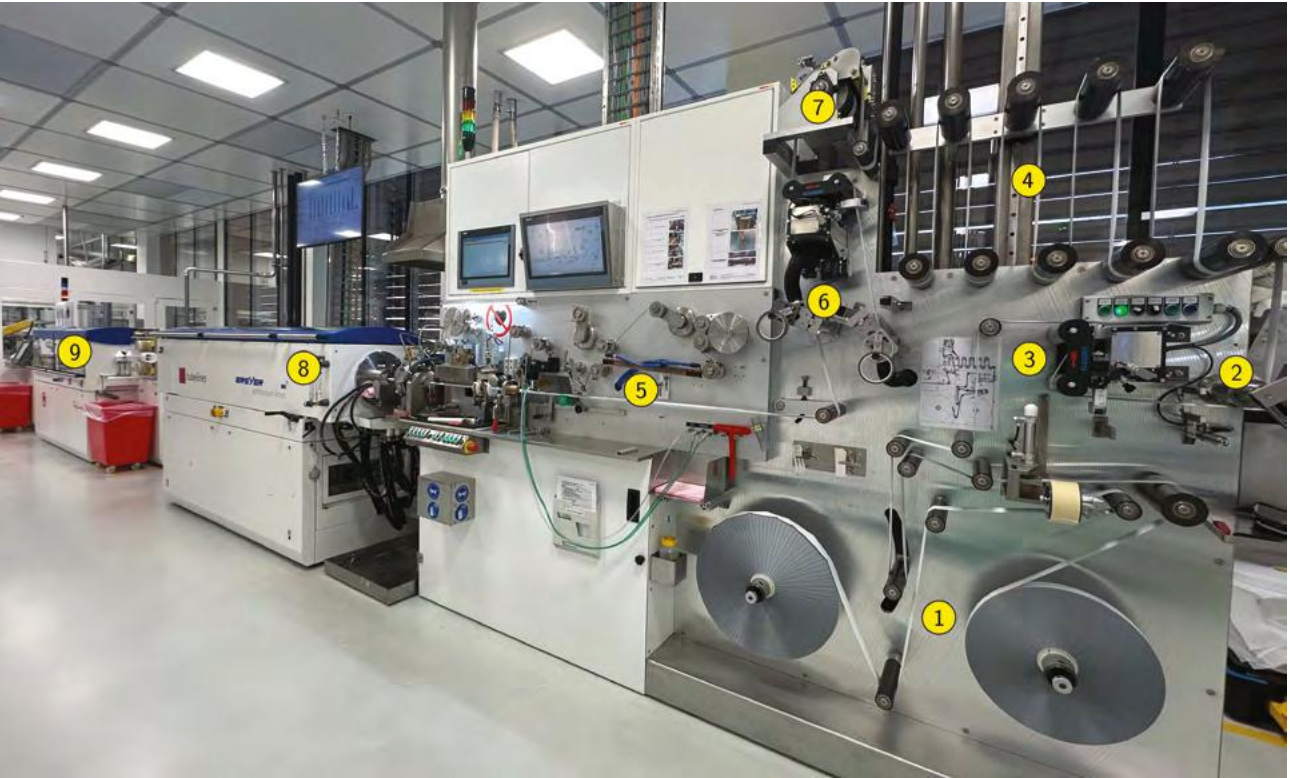


Abbildung 1: Side Seamer Maschinen wickeln Laminat ab, verschweissen es längsseitig und schneiden es in die entsprechende Länge.

Im ersten Produktionsschritt bei der Tubenproduktion wird das Laminat von der Rolle abgewickelt (Abbildung 1, Nr. 1) und am Ende über einem Schweissdorn an den beiden Auskanten des Laminats zu einem Endlosrumpf zusammengeschweisst (Abbildung 1, Nr. 5). Die nachfolgenden Schritte mit dem Schneiden des Laminatrumpfes in die entsprechende Tubenlänge (Abbildung 1, Nr. 9) sind nicht Teil des Projektes, gehören aber auch zur Maschine, welche Side Seamer genannt wird. Ziel dieses Projektes ist insbesondere die Sicherstellung, dass vor dem Schweissen (Abbildung 1, Nr. 6) das Laminat eine konstante Spannung bzw. eine konstante aber möglichst hohe Geschwindigkeit hat. Dies stellt eine hohe Produktionsrate, Prozessqualität und Stabilität sicher. Die ideale Spannung ist vom zu verarbeitenden Laminat abhängig, denn der Side Seamer muss verschiedenste Lamine verarbeiten können. Erreicht wird dies mit einer

modellbasierten Regelung, wofür der gesamte Prozess in einem detaillierten physikalischen Modell abgebildet wurde.

**Modellierung**

Das Modell setzt sich im Wesentlichen aus Rollen und dazwischenliegenden Laminatabschnitten zusammen (siehe Abbildung 2). Für die Umlenkrollen gilt unter Berücksichtigung der Reibungsverluste  $c_i\omega_i(t)$  und der zusätzlichen Drehmomente eines Antriebes die Energieerhaltung (vgl. Abbildung 2):

$$J_i\dot{\omega}_i(t) + M_i(t) + c_i\omega_i(t) - r_i(T_i(t) - T_{i+1}(t)) = 0$$

Wobei  $J$  die Massenträgheit,  $c$  die Dämpfung,  $r$  der Radius und  $M$  das Drehmoment des Antriebs (sofern die Rolle effektiv von einem Motor beeinflusst wird) der Rolle ist.

Für den Laminatabschnitt zwischen zwei Rollen kann man über die Massenerhaltung zwischen  $P_1$  und  $P_2$  (vgl. Abbildung 2) folgenden Zusammenhang herleiten:

$$\begin{aligned}\dot{T}_i(t) &= \frac{AE}{L_i(t)} \dot{L}_i(t) - \frac{1}{L_i(t)} \dot{L}_i(t) T_i(t) \\ &\quad + \frac{AE}{L_i(t)} (v_i(t) - v_{i-1}(t)) \\ &\quad + \frac{1}{L_i(t)} (v_{i-1}(t) T_{i-1}(t) - v_i(t) T_i(t))\end{aligned}$$

Darin ist  $A$  der Querschnitt,  $E$  das E-Modul,  $T$  die Spannung und  $v$  die Geschwindigkeit des Laminates. Bei begrenzten Beschleunigungen kann angenommen werden, dass zwischen Laminat und Umlenkrolle Haftreibung existiert, womit ein Zusammenhang zwischen Winkelgeschwindigkeit der Rollen und Geschwindigkeit des Laminates existiert. Am Side Seamer gibt es 38 Rollen und 39 Zwischenabschnitte, das resultiert in einem nicht-linearen System von 78 Differentialgleichungen.

Ein Raupenabzug sorgt dafür, dass das Laminat (Abbildung 1, Nr. 9) mit einer bestimmten Geschwindigkeit abgezogen wird. Die Drehmomenten der beiden Rollen (Abbildung 1, Nr. 1 und 7), welche einen Antrieb haben, und diese Abzugsgeschwindigkeit bilden die Systemeingänge, welche im Vektor  $u$  zusammengefasst sind. Das dynamische Modell kann also in dieser Form geschrieben werden:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), \Theta)$$

Der Systemzustand  $x$  besteht aus den Winkelgeschwindigkeiten  $\omega_i$  und den Laminatspannungen  $T_i$  der verschiedenen Rollen und Laminatabschnitte.  $\Theta$  ist der Vektor der Modellparameter und umfasst 158 Einträge. Viele davon sind redundant und bekannt oder können berechnet werden, insbesondere die Dämpfung in den Rollen und das E-Modul sind aber unbekannte Parameter und müssen mit Hilfe eines Identifikationsvorganges bestimmt werden.

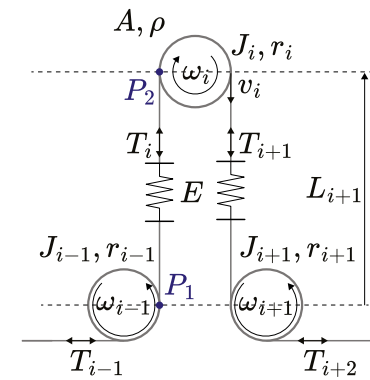


Abbildung 2: Modellansatz der Laminatführung mit den verschiedenen Systemzuständen und Systemparametern.

### Systemidentifikation

Numerisch kann das Systemverhalten berechnet werden, wenn zum Startzeitpunkt der Simulation  $t_0$  der Systemzustand  $x(t = t_0)$  bekannt ist. Laminatspannungen und Winkelgeschwindigkeiten können an drei Rollenpositionen gemessen werden. Das heisst nur ein Bruchteil der Systemzustände können effektiv gemessen werden. Befindet sich das System aber in einem stationären Zustand, das heisst der Zustandsvektor ändert sich in der Zeit nicht, wird das Differentialgleichungssystem zu einem nicht-linearen Gleichungssystem und hat in diesem speziellen Fall eine eindeutige Lösung, welches eine vollständige Bestimmung des Systemzustandes zulässt:

$$\dot{x}(t_0) = 0 = f(x(t_0), u(t_0), \Theta) \implies x(t_0)$$

Ein Identifikationsvorgang umfasst ein Einstellen eines stationären Zustandes über die Systemeingänge, anschliessendes Warten bis die transienten Vorgänge abgeklungen sind und schliesslich das Identifikationssignal, hier in Form eines PRBS-Signales, um das System möglichst breitbandig (im Frequenzbereich) anzuregen. In Abbildung 3 sieht man einen solchen Vorgang, wobei der Antrieb der

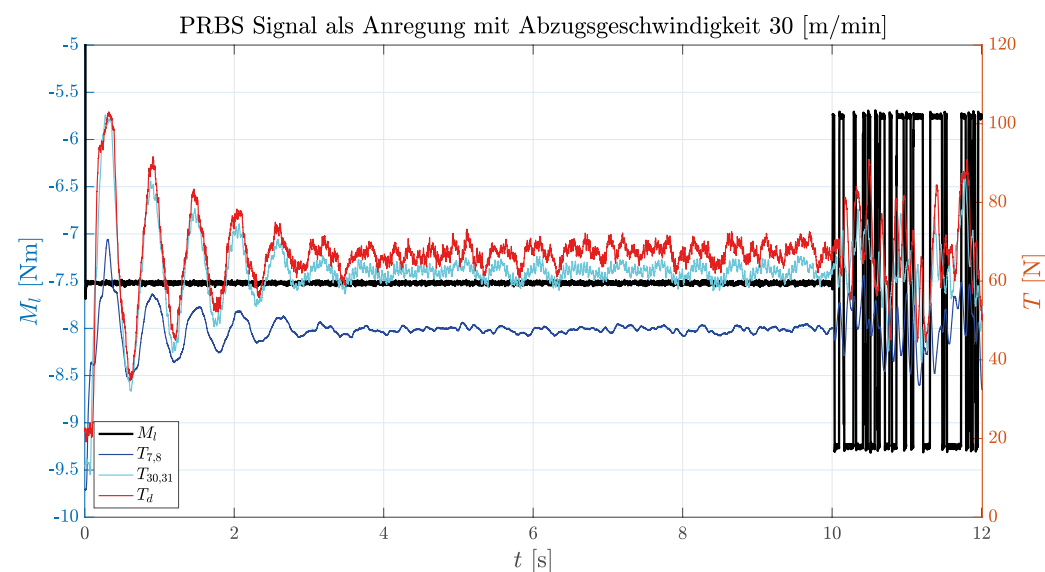


Abbildung 3: Identifikationsvorgang mit der Einstellung eines stationären Zustandes während der ersten zehn Sekunden.

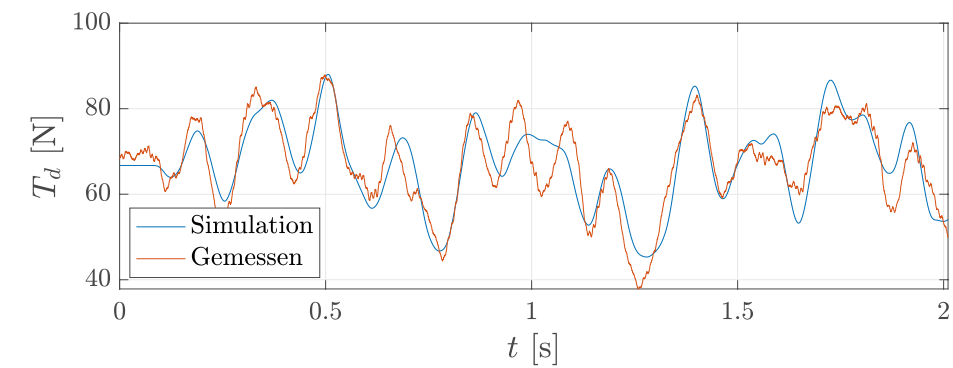


Abbildung 4: Vergleich der Simulationsergebnisse mit der Messung der Laminatspannung vor dem längsseitigen Verschweissen.

Laminatrolle mit einem PRBS-Signal angeregt (Abbildung 3, schwarze Linie) und die anderen beiden Eingänge konstant gehalten wurden. Während zehn Sekunden wird gewartet, bis sich der stationäre Zustand approximativ eingestellt hat. Die farbigen Linien sind Messungen der Laminatspannung an unterschiedlichen Positionen. Für die Identifikation kann nun durch Mittelung der stationäre Zustand bei  $t = 10$  bestimmt werden, um ausgehend davon die numerische Lösung des Modelles zu berechnen. Die Trajektorien der Eingänge werden als Modelleingänge direkt übernommen. Mit einer bestimmten Wahl des Parametervektors  $\Theta$  lassen sich nun mit einem numerischen Solver die Systemzustände als Zeitreihen berechnen. Simuliert wird jeweils der Zeitabschnitt ab  $t = 10$  (vgl. Abbildung 3). Mit Simulations- und Messdaten lässt sich nun ein Optimierungsproblem formulieren, um dasjenige  $\Theta$  zu finden, welches die Abweichung zu den Messdaten minimiert. Die Zielfunktion kann so geschrieben werden:

$$\operatorname{argmin}_{\Theta} \sum_{i \in \mathcal{M}} \lambda_i \|\hat{x}_i(x_0, u, \Theta) - x_i\|^2$$

Dabei ist  $\hat{x}_i$  die mit einem ODE45 Solver berechnete numerische Lösung und  $x_i$  die Messung des Zustandes  $i$  als Zeitreihe. Summiert wird über alle Systemzustände mit verfügbaren Messungen. In Abbildung 4 sieht man den Vergleich von Simulation und Messung einer Laminatspannung nach der Optimierung (entspricht derjenigen in Abbildung 3). Die Laminatspannung  $T_d$  wird später auch eine Regelgrösse sein, daher ist eine genaue Modellierung dieses Zustandes besonders wichtig. Die Differenz zwischen Simulations- und Messdaten ist vernachlässigbar klein und lässt unter anderem sogar die genaue Bestimmung des E-Modules des Laminates zu, welche mit einem Zugversuch verifiziert wurde. Damit das Modell für die Regelung eingesetzt werden kann, wird nun im zweiten Teil des Projektes versucht, die Modellkomplexität zu reduzieren und den Kompromiss bei der Modellgenauigkeit möglichst klein zu halten, um es als Teil einer modellbasierten Regelung einzusetzen.

### Industriepartner

Mario Schüpbach, Hoffmann Neopac AG, Oberdiessbach  
Kilian Schürch, Hoffmann Neopac AG, Oberdiessbach

### Projektteam

Basil Ruch, wissenschaftlicher Mitarbeiter, FHNW  
basil.ruch@fhnw.ch  
Lars Zihlmann, wissenschaftlicher Assistent, FHNW  
lars.zihlmann@fhnw.ch

# Verbesserung der Lebensdauer der Ausmauerung bei Elektrokremationsöfen

Daniel Jakober

Elektrokremationsöfen weisen gegenüber Gaskremationsöfen ein enormes Energiesparpotenzial auf. Allerdings ist die Lebensdauer der Ofenausmauerung nur etwa halb so gross. Damit diese in Zukunft verdoppelt werden kann, wurden die dafür verantwortlichen Faktoren identifiziert und Ideen zur Lebensdauervergrösserung entwickelt.

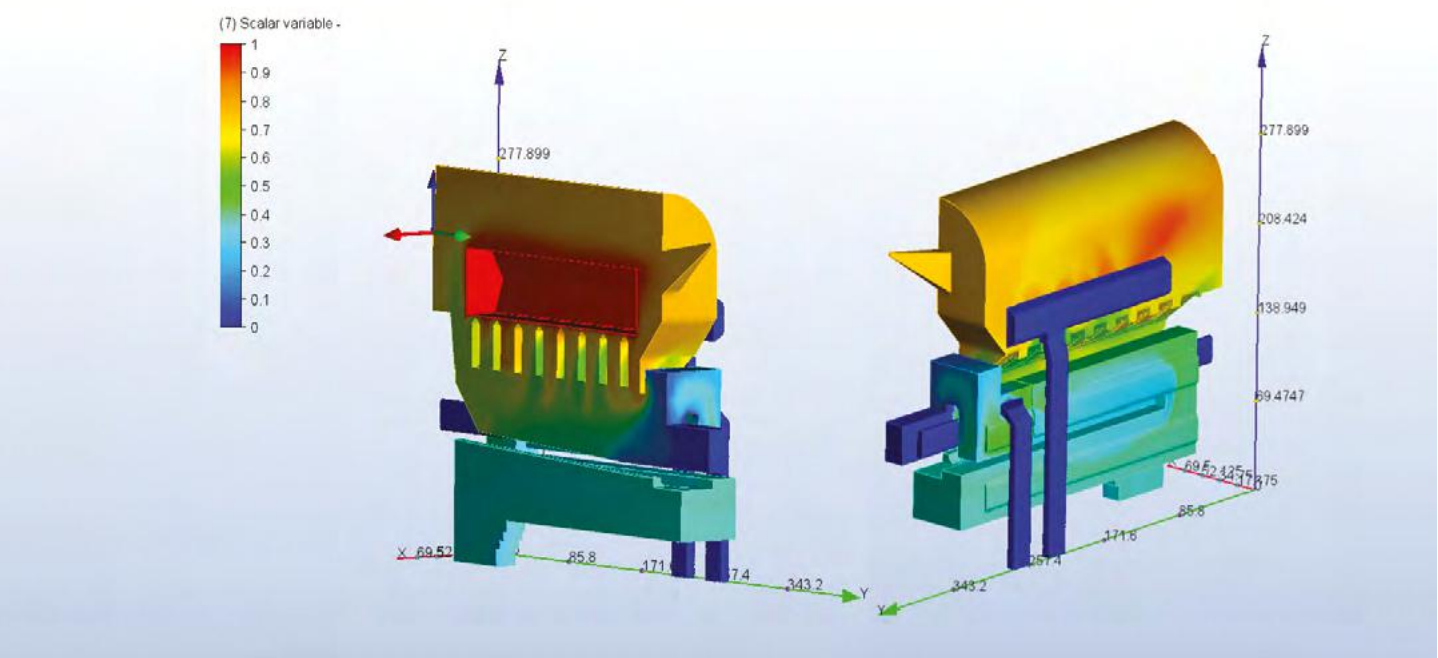


Abbildung 1: 3D Simulation der Temperaturverteilung und Durchmischung

## Problemstellung

Elektrokremationsöfen verbrauchen für das Aufheizen nur einen Zehntel der Energiemenge gegenüber Kremationsöfen, die mit Naturgas betrieben werden. Der einzige Nachteil besteht in der nur etwa halb so grossen Lebensdauer der Ausmauerung des Unterofens. Dies entsteht daher, dass die elektrischen Heizwendel in speziellen Schamottesteinen (Spiraltragsteinen / STS) verpackt werden müssen, damit sie nicht korrodieren. Damit die Heizleistung aber dennoch in den Brennraum gelangt, wird nur eine dünne Wandstärke verwendet, was zu einer strukturellen Schwachstelle führt. Um die Lebensdauer zu verbessern, gibt es drei mögliche Lösungsansätze:

- Korrosionsbeständigeres Material
- Mehr Wandstärke
- Korrosionsärmere Umgebung

Diese werden im Folgenden genauer beschrieben.

## Steinanalyse und Materialtests

Ein korrosionsbeständigeres Material kann nur gefunden werden, wenn die korrosiven Prozesse chemisch verstanden werden. Es wurde eine umfangreiche Literaturstudie zu diesem Thema durchgeführt und Steine und Verglasungsschichten chemisch und strukturell analysiert. Dafür wurden vor allem Proben aus dem Spiraltragstein in verschiedenen Tiefen entnommen, welche in folgender Abbildung dargestellt sind.

Die Resultate bestätigen, dass die in der Literatur umfassend beschriebene Korrosion von Feuerfestmaterialien auch bei Krematorien dominant zum Verschleiss beitragen. Durch die Verwendung von anderen Materialien mit einer höheren Korrosionsbeständigkeit könnte die Lebensdauer massiv erhöht werden. Dazu wurden Materialtests in einem produktiven Elektrokremationsofen gestartet. Diese sind aber zum aktuellen Zeitpunkt noch zu wenig weit fortgeschritten, als dass man bereits eine Prognose treffen könnte.

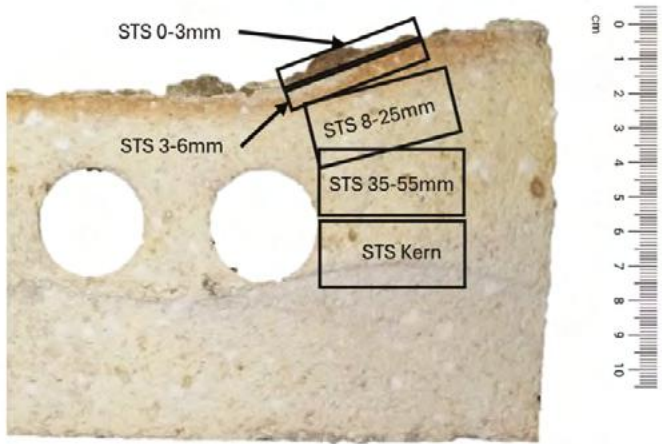


Abbildung 2: Steinproben aus dem STS

## Alternative Heizmethode

Wie so oft im Feuerfestbereich bestimmt die Wandstärke massgeblich die Lebensdauer. Diese ist momentan aufgrund der Heizwendel einiges kleiner als bei Gasöfen, die normale Schamottesteine verbauen können. Würde man die Heizwendel aus den Schamottesteinen entfernen und in den Brennraum verschieben, hätte man automatisch eine viel grössere Wandstärke und dadurch eine höhere Lebensdauer. Deshalb wurde ein Wärmestrahler in einem Testkanal verbaut und die Aufheizung erfolgreich getestet. Dies ist in der folgenden Abbildung ersichtlich.

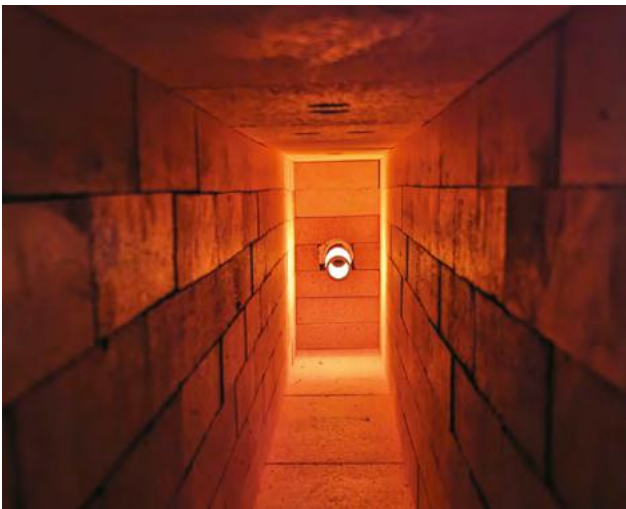


Abbildung 3: alternative Heizmethode im Testkanal

Da der Wärmestrahler nun im Brennraum ist, bedeutet das aber, dass die Heizung die korrosive Atmosphäre überleben muss. Daher müssen auch für diesen Lösungsansatz die Resultate der Materialtests abgewartet werden.

## Prozessoptimierung

Zum Korrosionsprozess ist ebenfalls bekannt, dass dieser durch hohe Temperaturen, die zum Schmelzen der Flugasche führen, stark begünstigt wird. Dies passt zum Verschleissbild, dass der Unterofen viel stärker korrodiert als der obere Teil des Ofens, da die Temperaturen im Unterofen kurzzeitig bis zu 500°C höher sein können. Dies ist

darauf zurückzuführen, dass mit der aktuellen Steuerung die entstehenden Pyrolysegase zu einem Grossteil bewusst erst im Unterofen verbrannt werden. Zur Analyse der Temperaturverteilung und der Durchmischung von Frischluft und Pyrolysegas wurde der Ofen 3D simuliert. Ein Resultat ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die Luftzufuhr ist blau dargestellt. Diese wird im Unterofen im oberen Kanal eingeblasen, was dazu führt, dass dort das stärkste Feuer entsteht. Da die entstehenden Pyrolysegase nicht reduziert werden können, müsste deren Verbrennung auf die gesamte Länge des Ofens erweitert werden. So könnten die lokal starken Temperaturspitzen besser verteilt und die Korrosion gleichzeitig stark reduziert werden. Dafür wird aktuell an verbesserten Frischluftzufuhröffnungen geforscht.

## Zusammenfassung

Insgesamt konnten bereits viele Lösungsansätze identifiziert werden, die alle das Potenzial bieten, die Lebensdauer zu verbessern. Ein Vorteil dabei ist, dass sie sich gegenseitig nicht ausschliessen und somit auch eine Hybridlösung möglich ist. Schlussendlich werden die Resultate der Materialtests einen wesentlichen Einfluss auf den weiteren Verlauf des Projekts haben. Aufgrund der erkannten Prozessoptimierungen kann aber auch im Worst-Case-Szenario, falls alle Materialien die Kremationsatmosphäre nicht genügend lange überleben sollten, bereits eine Verbesserung der Lebensdauer erreicht werden.

## Industriepartner

Friedrich Schütz, Bürge-Fischer AG, Safenwil  
Christoph Schütz, Bürge-Fischer AG, Safenwil

## Projektteam

Prof. Dr. Jürg Keller, Projektleiter, FHNW  
juerg.keller1@fhnw.ch  
Daniel Jakober, wissenschaftlicher Assistent, FHNW  
daniel.jakober@fhnw.ch  
Dominique Torti, wissenschaftlicher Assistent, FHNW  
dominiquepascal.torti@fhnw.ch

# Intelligente Verschleisserkennung bei Zerspanungswerkzeugen

Marius Lerf

In einem Innosuisse-Projekt mit der Fraisa SA wurde eine Methode für die Automatisierung der Aufbereitung von Fräsern entwickelt. Dazu werden die Werkzeuge mit einem optischen Verfahren erfasst und mit Bildverarbeitungs- und Machine-Learning-Algorithmen Parameter zur Aufbereitung ermittelt.



Abbildung 1: Werkzeugschleifmaschine.

## Aufbereitung von Fräs Werkzeugen

Die Fraisa SA ist eine Firma mit Sitz in Bellach und stellt Werkzeuge wie Fräser und Bohrer für die zerspanende Metallbearbeitung her. Zudem bietet die Fraisa als Dienstleistung die Aufbereitung von verschlissenen Werkzeugen an. Dabei werden Verschleisserscheinungen am Werkzeug durch Nachschleifen entfernt. Wird ein Werkzeug zum richtigen Zeitpunkt (nicht zu stark oder zu wenig verschlissen) aufbereitet, ist das günstiger als der Kauf eines Neuwerkzeugs. Nach der Aufbereitung hat das Werkzeug wieder neuwertige Eigenschaften. Der ökonomische Vorteil wird durch den Umstand verstärkt, dass ein Werkzeug oft mehrmals aufbereitet werden kann, bevor es sein endgültiges Lebensende erreicht.

In diesem Projekt wurden Hartmetall-Schaftfräser betrachtet, welche die Fraisa in grossem Volumen (ca. 340'000 Werkzeuge pro Jahr) aufbereitet. Das Nachschleifen der

Fräser mit CNC-Maschinen wird durch rund ein Dutzend Aufbereitungsparameter konfiguriert. Diese Parameter werden heute mittels manueller Vermessung und Begutachtung der Fräser durch Schleifexpert\*innen für jedes einzelne Werkzeug bestimmt. Durch die Automatisierung der Parameterbestimmung soll der Prozess robuster gestaltet werden und Optimierungen ermöglicht werden.

## Automatische Bestimmung der Parameter

Als Grundlage für die automatische Bestimmung der Aufbereitungsparameter wird die komplette Mantelfläche eines Fräsers optisch erfasst. Eine 8k – Zeilenkamera nimmt laufend Bilder entlang der Längsachse des Fräsers auf, während dieser um seine eigene Achse gedreht wird. Während der Rotation des Fräsers wird zudem zyklisch die Beleuchtungsrichtung zwischen vier verschiedenen Richtungen umgeschaltet (Abbildung 2). Die vier resultierenden Bilder zeigen jeweils die Mantelfläche des Fräsers mit unter-

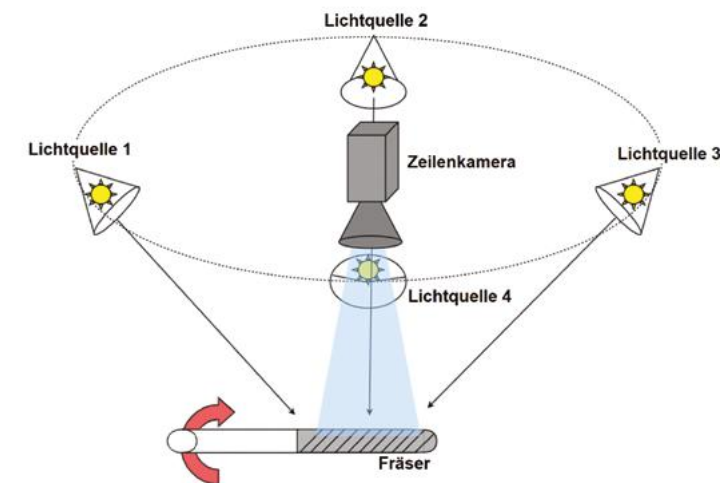


Abbildung 2: Verfahren zur Bildaufnahme

schiedlichen Beleuchtungsrichtungen. Daraus können Informationen zur Form der Fräser-Oberfläche gewonnen werden. Das ermöglicht eine zuverlässige Erkennung von Verschleissstellen und Ausbrüchen am Fräser. Zusätzlich wird der Fräser mit weiterer Sensorik vermessen, um weitere Features für die Identifikation der Aufbereitungsparameter zu erhalten.

Die grosse Datenmenge, welche für jeden Fräser anfällt, wird mit unterschiedlichen Techniken verarbeitet. Einige Aufbereitungsparameter werden durch einen klassischen Bildverarbeitungsalgorithmus bestimmt. Die Bilddaten werden zudem von einem Machine-Learning Modell verarbeitet, um weitere Aufbereitungsparameter zu ermitteln. Bei der Entwicklung dieses Modells wurde ein umfangreiches Feature Engineering durchgeführt. So konnte die hohe Dimensionalität der Rohdaten reduziert und die Performance des Machine Learning erhöht werden.

## Generieren eines Datensatzes

Die Fräser, welche von der Fraisa aufbereitet werden, verfügen über eine grosse Vielfalt. Durchmesser, Länge, Schneidentyp und Drallwinkel sind nur einige der vielen Variablen. Um ein Machine-Learning Modell trainieren zu können, welches Aufbereitungsparameter mit hoher Zuverlässigkeit für diese grosse Vielfalt an Fräsern bestimmen kann, wird ein sehr grosser Datensatz benötigt. Um diesen zu generieren, wurde im Verlauf des Projekts ein halbautomatischer Prototyp gebaut, welcher von der Fraisa in ihrem Aufbereitungszentrum eingesetzt wurde (Abbildung 3).

Auf Basis des Datensatzes und des Feature Engineerings wurde das Machine-Learning Modell trainiert. Im Rahmen dieses Innosuisse-Projekts wurde der Fokus auf den am häufigsten aufbereiteten Fräser-Typ gelegt.

## Prozessoptimierung

Mit dem entwickelten Prozess können die Aufbereitungsparameter für diesen Fräser-Typ automatisch bestimmt werden. Durch diese automatisierte Verarbeitung kann



Abbildung 3: Prototyp zum Generieren eines Datensatzes

der ökonomische Nutzen der Fräser-Aufbereitung erhöht werden. Zusätzlich kann eine Kontrolle der Fräser nach der Aufbereitung realisiert werden. Zukünftig kann der Algorithmus zur Bestimmung der Aufbereitungsparameter angepasst und iterativ optimiert werden. So kann der Materialabtrag bei der Aufbereitung eines Werkzeugs minimiert werden und dadurch die Anzahl möglicher Aufbereitungszyklen erhöht werden.

Nach der Entwicklung des beschriebenen Prozesses und des Proof of Concepts im Innosuisse-Projekt zwischen der FHNW und der Fraisa befindet sich das Projekt nun bei der Fraisa in der Umsetzungsphase.

## Industriepartner

FRAISA SA  
Philip Disdorn, philip.disdorn@fraisa.com  
Philipp Nienhaus, philipp.nienhaus@fraisa.com  
Yves Krause, yves.krause@fraisa.com

## Projektteam

Max Edelmann, Wissenschaftler Mitarbeiter, max.edelmann@fhnw.ch  
Antonio Bruno, Wissenschaftlicher Assistent, antonio.bruno@fhnw.ch  
Marius Lerf, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent, marius.lerf@fhnw.ch

# Kollisionsfreie robotische Bahnplanung zur automatisierten, radiologischen Charakterisierung von Bauteilen am Paul Scherrer Institut

Claude Wenger

Im Rahmen des Dienstleistungsprojekts «Freimessen von Materialien» erstellte das IA der FHNW ein Konzept sowie die Umsetzung für eine Roboterzelle, welche bis zu 3 Europaletten Material selbständig freimessen kann, inklusive Datenerfassung.

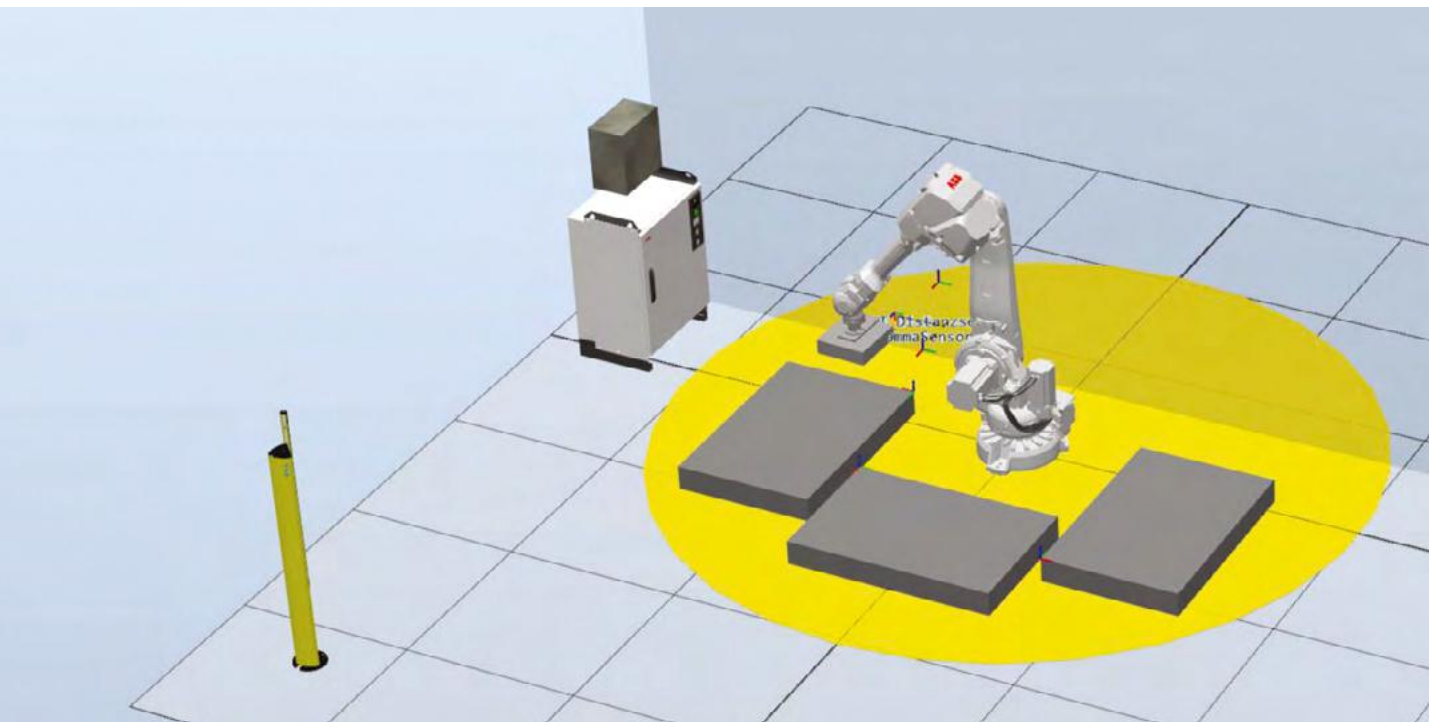


Abbildung 1: Simulation der Roboterzelle mit Arbeitsbereich in Gelb und den drei Paletten in Dunkelgrau

## Einleitung

Die Swiss Light Source (SLS) ist eine wichtige Forschungsinfrastruktur am Paul Scherrer Institut (PSI), welche Röntgenstrahlung für verschiedene wissenschaftliche Anwendungen erzeugt. Um die Qualität und Intensität der Strahlung zu verbessern, soll der bestehende Speicherring durch einen neuen ersetzt werden. Dies erfordert die radiologische Charakterisierung einer grossen Anzahl von Objekten mit unterschiedlichen Geometrien, die aus dem alten Speicherring entfernt werden müssen. Um diesen Prozess zu automatisieren und zu beschleunigen, soll ein Industrieroboter zur Messung der Strahlenbelastung genutzt werden.

## Ziele

Das Projekt umfasst die Planung, Zusammenstellung und Inbetriebnahme der Hardware, die Entwicklung der Steuerungs- sowie Roboter-Software und die Erstellung und Umsetzung eines Sicherheitskonzepts.

Das Projekt soll zu einer Kosten- und Zeitersparnis sowie zu einer höheren Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen führen. Ebenso wird die Strahlenbelastung des Personals reduziert. Die Herausforderungen des Projekts bestanden darin, eine genügend genaue, geometrische Erfassung der Werkstücke zu erreichen, um anhand dieser eine kollisionsfreie Bahnplanung zu erstellen. Die Werkstücke sind demontierte und zum Teil zerschnittene Elemente der alten SLS Anlage, daher ist jedes ein Einzelstück und muss einzeln erfasst werden.

Zur Qualitätssicherung sollten alle Messdaten erfasst, zusammengefügt und einer Python Schnittstelle des PSI zur Verfügung gestellt werden.

## Innovationsergebnisse

Es wurde eine wiederverwendbare Schnittstelle zwischen ABB Robotern und Beckhoff SPSen per Profinet entworfen

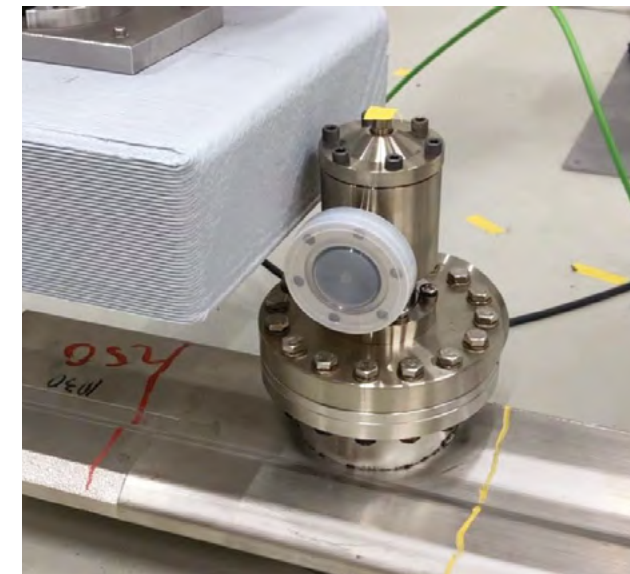


Abbildung 2: Strahlungs-Testscan mit 20mm Abstand und 3D gedrucktem Detektor-Dummy (Hellgrau)

und umgesetzt. Dies war notwendig, da keine standardisierte Schnittstelle existierte, bzw. jeder Automationsanbieter seine eigene erstellt.

Ebenfalls konnte das automatisierte Abmessen realisiert werden. Dies umfasst das Erfassen der Werkstücke als Punktwolke mittels Distanzsensor, die Erstellung von kollisionsfreien Höhenkarten aus diesen Daten und das kollisionsfreie, radiologische Freimessen der Werkstücke anhand dieser Höhenkarte.

Zuerst wurde geplant, das System ohne SPS zu betreiben und statt dessen den Roboter-Controller (ABB) als Master des Systems einzusetzen. So kommunizierten der Distanzsensor sowie externe Geräte direkt mit dem Roboter-Controller. Ebenfalls wurde, zum sicheren Betrieb der Zelle, ein Lichtvorhang (Sick) in das System integriert.

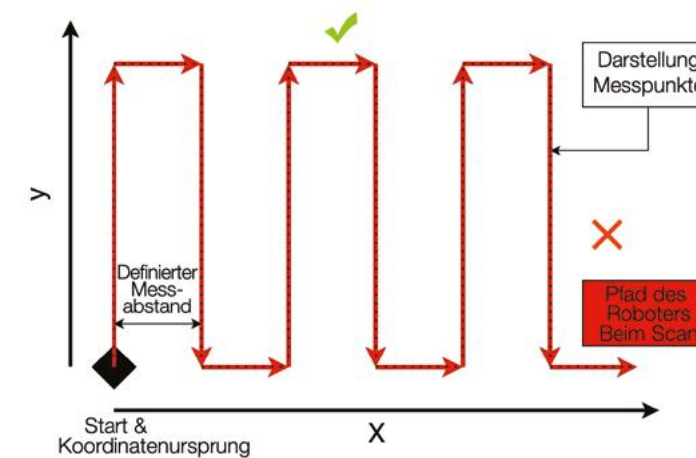


Abbildung 3: Messstrategie Distanzsensor mit Punkteauflösung von 1x1mm

Die Erweiterung um eine SPS (Beckhoff) stellte sich später als notwendig heraus, da der Roboter-Controller beim Auslesen der Daten nicht die maximale Abtastrate des Distanzensors (Baumer) von 1.8kHz erreichte. Dies wurde nötig, um die gewünschte Messdauer pro Palette (~15min.) zu erreichen, indem der Roboter mit einer Endeffektor-Geschwindigkeit von 1m/s das Profil des Werkstücks erfasst.

In dieser Konfiguration übernahm die SPS die Master-Rolle, somit würden alle Geräte mit und über die SPS kommunizieren. Da der Roboter sowohl Positionsdaten liefert wie auch detaillierte Befehle entgegennimmt, wurde eine eigene, umfassende Profinet-Schnittstelle zwischen den beiden Geräten entworfen und umgesetzt.

Die nun durch den Distanzsensor gewonnenen Daten werden zu einer Höhenkarte zusammengefügt (2D Matrix aus Distanzwerten). Diese Karte wird danach mit einer Maske der Grösse des Strahlungsmessgeräts (Arktis) nach Maximalwerten gefiltert, um eine neue Höhenkarte zu erstellen. Alle Punkte dieser Karte können mit der jeweiligen Distanz (z-Achse des Werkzeugs) kollisionsfrei angefahren werden.

Um die Funktionsfähigkeit des Strahlungsmessgeräts zu gewährleisten, muss dieses mit max. 20mm Abstand zum Messobjekt verwendet werden.

Im Rahmen dieses Projekts wurden mehrere Studierendenarbeiten durchgeführt, welche unter anderem das Messprinzip validierten und den Zeitaufwand zur Erstellung der Höhenkarte optimierten.

## Ausblick

Im nächsten Schritt der Entwicklung wird das System ausführlich getestet und auf den Betrieb vorbereitet. Ebenfalls wird ein weiterer Distanzsensor evaluiert und eventuell in das System integriert. Dieser verspricht eine noch höhere Messgeschwindigkeit durch ein Fächermessprinzip.

Zudem ist die Erstellung einer Datenbank für die Höhenkarten geplant. Diese Datenbank soll es ermöglichen, Höheninformationen zwischenspeichern und effizient abzurufen. Eine Python Schnittstelle (OpcUa) wird entwickelt, um eine nahtlose Integration in die bestehenden Datenerfassungstools des PSI zu gewährleisten.

## Industriepartner

Paul Scherrer Institut (PSI), <https://www.psi.ch>

## Projektteam

Prof. Michael Böller, Dozent für industrielle Steuerungstechnik, [michael.boeller@fhnw.ch](mailto:michael.boeller@fhnw.ch)  
 Claude Wenger, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent BME, [claudewenger@fhnw.ch](mailto:claudewenger@fhnw.ch)  
 Marvin Roy, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent MSE, [marvin.roy@fhnw.ch](mailto:marvin.roy@fhnw.ch)  
 Wolfgang Fischer, Fachspezialist für angewandte Robotik, [wolfgang.fischer@fhnw.ch](mailto:wolfgang.fischer@fhnw.ch)

# SmartGridready Testlabor

Christian Zeltner

«SmartGridready» ist das Label der Zukunft für die standardisierte, sichere Kommunikation zwischen dem intelligenten Stromnetz und lokalen «Prosumern». Ein wesentlicher Faktor ist die Interoperabilität der Geräte und einfache Konfiguration der Systeme. Für das Testen der Schnittstellen zwischen Energiemanagementsystemen (EMS), Produkten und dem SmartGrid wurde ein Testlabor an der FHNW aufgebaut. Das interdisziplinäre Projekt basiert auf einer Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Instituten (IA, IMVS, IEE) und dem Verein «SmartGridready». Der Aufbau wird mitfinanziert vom Bundesamt für Energie (BFE). Das Testlabor soll den Firmen zur Verfügung stehen als Unterstützung der Deklaration nach SmartGridready und für Interoperabilitätstests im Rahmen von «Plugfests».



Abbildung 1: Testwände

**Ausgangslage und Zielsetzungen**  
Der Erhalt des SmartGridready-Labels erfolgt über eine Selbstdeklaration, welche über die Deklarationsstelle des Vereins SmartGridready begleitet wird. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Prüfung der Geräte auf Interoperabilität mit realer Hardware. In der Vergangenheit wurden diese Tests stichprobenweise im Feld durchgeführt. Zukünftig sollen sie jedoch durch ein systematisches und reproduzierbares Prüfen im Labor ersetzt werden. Die Tests im Labor werden als Dienstleistung an die Hersteller angeboten, um ihre Produkte in einer frühen Entwicklungsphase auf die SmartGridready-Fähigkeit prüfen zu können. Zusätzlich sind auch «Plugfests» geplant, die den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen Herstellern fördern sollen. Darüber hinaus kann das Labor für umfassende Hardware-Tests genutzt werden, die den Deklarationsprozess unterstützen. Die Testumgebung ist bei den Herstellern bereits

auf hohes Interesse gestossen. Als «Early Adopters» haben erste Hersteller ihre Produkte bereits zur Verfügung gestellt und eingebunden.

**Anforderungen**  
Die Geräte sollen auf folgenden Stufen getestet werden:

- Funktionstests: Hierbei werden alle Funktionsprofile und Datenpunkte getestet, um sicherzustellen, dass das Gerät plausible und korrekte Antworten liefert.
- Integrationstests: Hier werden die Geräte in ein Gesamtsystem integriert, um ihre Zusammenarbeit mit anderen Geräten und deren Verhalten im Verbund zu überprüfen.

Parallel dazu wird in einem Open Source Projekt ein eigenes EMS entwickelt (OpenCEM), welches später für integrative Tests verwendet werden kann.



Abbildung 2: Testprotokoll eines Produkts

**Testwände**  
Die Testumgebung wurde modular auf mobilen Wänden aufgebaut (Abbildung 1), um eine spätere Erweiterung einfacher zu ermöglichen. Die Hauptwand ist in verschiedene Komponentenkategorien unterteilt. Dazu gehören Energiemanagementsysteme, Gateways und Stromzähler sowie Produkte wie beispielsweise Wärmepumpen. Dabei werden jedoch nur die Controller und nicht die vollständigen Geräte installiert. Zusätzlich wurde eine zweite Testwand aufgebaut, welche die Einbindung von Ladestationen für Elektrofahrzeuge sowie intelligenten Stromzählern (Smart Meter) mit entsprechenden Adaptern ermöglicht.

**Test-Framework**  
Der Fokus liegt in der Entwicklung eines innovativen Software-Testframeworks für SmartGridready-Produkte. Dieses Framework ermöglicht vollautomatische Tests der Funktionsprofile und Datenpunkte, die von den Geräten bereitgestellt werden. Grundlage hierfür sind maschinenlesbare Hardware-Beschreibungsdateien (XML-Files), die eingelesen und zur automatischen Generierung des Testablaufs genutzt werden. Über eine Benutzerschnittstelle können die Produkte ausgewählt werden und die Tests gestartet werden. Während den Tests werden alle Datenpunkte systematisch auf ihre Funktionalität geprüft und automatisch ein Protokoll erstellt (Abbildung 2).

**Integration ins SmartGrid über lokale Energiemanagementsysteme (EMS)**  
Zentral ist die Kommunikation der «Prosumer» mit dem intelligenten Stromnetz. Dazu wird in Zukunft jedes Gebäude ein Energiemanagementsystem (EMS) haben. Dieses kommuniziert mit dem Stromnetz über den «SmartGrid Connection Point (SGCP)». Prinzipiell sollen folgende Varianten der Kommunikation möglich sein:

- Kommunikation über die Cloud (z.B. REST API)
- Kommunikation über die SmartMeter-Kundenschnittstelle
- Kommunikation über Powerline, Rundsteuerempfänger, usw.

In einem zukünftigen Flexibilitätsmarkt sollen preisliche Anreize geschaffen werden, nach welchen die Verbraucher intelligent gesteuert werden. Dabei werden auch die Komfortwünsche der Benutzer in der lokalen Optimierung berücksichtigt. Zudem sollen schnelle Schaltungen in «Notfallsituationen» möglich sein.

**Hersteller gesucht**  
Für die laufende zweite Aufbauphase werden weitere Hersteller gesucht, welche Interesse haben, ihre Produkte nach «SmartGridready» zu deklarieren und auf unserem Prüfstand zu testen. Der Prüfstand ist auch gut geeignet zur Entwicklung neuer EMS, da bereits zahlreiche typische Verbraucher in Gebäuden installiert sind. Interessenten melden sich beim Projektteam (siehe Kontakte unten).

**Projektteam**  
Prof. Dr. David Zogg, Institut für Automation (IA), Gesamtprojektleitung, david.zogg@fhnw.ch  
Prof. Dr. Jürg Luthiger, Institut für Mobile und verteilte Systeme (IMVS), Teilprojektleitung Informatik  
Prof. Dr. Martin Geidl, Institut für Elektrische Energiesysteme (IEE), Teilprojektleitung elektrische Systeme und Netze  
Matthias Krebs, Institut für Mobile und verteilte Systeme (IMVS), Entwicklung Informatik  
Christian Zeltner, Master-Student in «Mechatronics and Automation» und Mitarbeiter IA, Entwicklung Hardware-Aufbau

**Auftraggeber / Finanzierung**  
SmartGridready-Verein, www.smartgridready.ch  
Bundesamt für Energie (BFE)

# Roboter unterstütztes Multi-Material Ultraschall Schweissen

Wolfgang Fischer

Die Kooperation zwischen dem Institut für Kunststofftechnik IKT und dem Institut für Automation IA im Innosuisse Projekt AutoFastener hat zu einem beträchtlichen Innovationsschub geführt. Die Automation mittels Roboter in Verbindung mit Ultraschallschweissen bietet ein überaus vorteilhaftes Alleinstellungsmerkmal und erhöht den Wettbewerbsvorteil der Industriepartner MultiMaterial-Welding AG, Biel (BE) und Plastica Balumag AG, Hochdorf (LU) markant.



Abbildung 1: Roboter Zelle FHNW Campus Windisch Gebäude 2

### Automatisierte InWWerse™ Fastening Technologie

MM-Welding setzt Ultraschallschweisssgeräte ein, um verschiedene Kunststoffmaterialien miteinander zu verbinden, dies mit patentierten Verfahren. Ein Robotersystem wird eingesetzt, um höhere Geschwindigkeiten und Takt-raten zu erreichen sowie höhere Genauigkeit und Präzi-sion als bei handelsüblichen Verfahren. Der Roboter kann komplexe, nicht planare Oberflächengeometrien zielgenau positionieren. Darüber hinaus wurde ein thermomechani-sches Simulationsmodell entwickelt, um den Grad der Ver-zahnung zwischen Verbindungselement und Substrat zu prognostizieren.



Abbildung 2:  
InWWerse™ Fastener

### Schweisssprozess

Mit Hilfe von Ultraschallenergie wird ein InWWerse™ Fas-tener-Verbindungselement in eine Struktur aus thermo-plastischen Werkstoffen eingebracht. Aufgrund der Ult-raschallerregung schmilzt das thermoplastische Material teilweise und fließt in oder hinter die Geometrien des Ver-bindungselements und bildet eine hochgradig verzahnte Verbindung. Sobald die Ultraschallschwingung aufhört, verfestigt sich das thermoplastische Material rasch, wo-durch die Verbindung ihre volle Festigkeit erhält und Ver-bindungszeiten von etwa 0,3 Sekunden möglich sind.

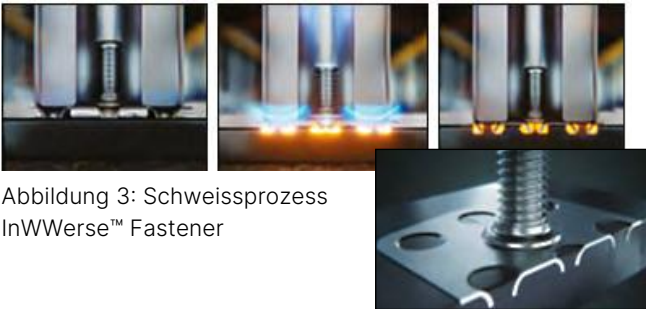


Abbildung 3: Schweisssprozess  
InWWerse™ Fastener

### Roboter und Endeffektor

Ein Industrieroboter ermöglicht schnelle und flexible Ori-entierung im dreidimensionalen Raum für Position und Winkel zum Werkstück. Am Roboterarm ist der Endeffektor montiert, Dieser besteht aus einem Linearmotor (3kN) mit Kraftsensor und einer Ultraschallschallsonotrode (20kHz).

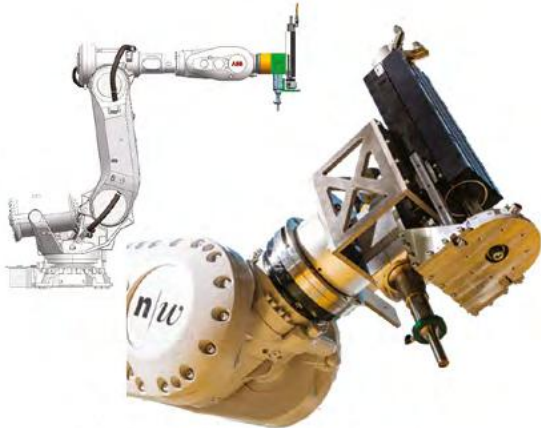


Abbildung 4: Roboter mit Endeffektor

Abbildung 4: Roboter mit Endeffektor

### Steuerung mit Soft SPS TwinCAT

#### Schweisssprozess

Die Programmsequenz 1 des Schweisssprozesses wird durch eine Soft-SPS gesteuert, welche sich auf einem Desk-Top PC befindet.

Die Soft-SPS startet den Roboter. Dieser holt einen neuen Fastener im Depot und positioniert diesen orthogonal über dem Werkobjekt. In diesem Fall ein Substrat aus schwarzem Kunststoff. Dann wird der Linearmotor in Richtung Werkobjekt bewegt und die Ultraschallschallsonotrode aktiviert. Bei Berührung des Fasteners mit der Oberfläche des Werk-objektes schaltet der Linearmotor von Positionsregelung auf Kraftregelung um. Mit der voreingestellten Kraft ver-schmelzen Fastener und Werkobjekt. Eine parametrierte Endposition definiert die Eintauchtiefe, sodass keine Mar-kierungen auf dem Substrat ersichtlich sind, ein wichtiges Qualitätskriterium neben der Verbindungsfestigkeit.

#### Pull-Out Test

Die Programmsequenz 2 testet den Fastener auf Zug. Der Linearmotor zieht an einem eingeschweissten Fastener, bis dieser aus dem Substrat losgerissen wird. Der Kraftverlauf wird dabei aufgezeichnet.



Abbildung 5: Soft SPS TwinCAT

### Bedienung GUI und Datenaquise DAQ Lab-View

Auf dem GUI (Graphical User Interface) kann die Programmsequenz 1 oder 2 gewählt werden. Die Schweisssparameter, z.B. für die Schweissschallsonotrode sind dies Einschalt-position und Amplitude, für den Linearmotor Bewegungsprofilparameter wie Ge-schwindigkeit, Endposition. Für jedes Setup mit Fastener und Substrat kann so ein individuelles Parameterset ge-speichert werden.



Abbildung 6: LabView GUI

Für jede Schweißung werden alle 100ms mit Zeitstempel über den Industriefeldbus ETHERNET/IP Position und Kraft in eine Tabelle abgelegt. Die Daten stehen zur Qualitäts-analyse zur Verfügung wie auch für Rückverfolgbarkeit bei grossen Stückzahlen.

### Ergebnisse

Durch das Experimentieren mit den einzelnen Schweisss-parametern konnte ein optimales Parameterset gefunden werden. Mit diesem Parameterset ist das höchstmögliche



Anzugsdrehmoment für die Befestigung eines Bauteils garantiert so-wie die höchste Aus-zugskraft verifiziert. Wir haben die Projektziele mit dem geforderten Drehmoment und der geforderten Auszugs-kraft erreicht.

Inzwischen wurden be-reits zwei Bauteile, mit InWWerse™ Fastener als Demonstrationsstücke ausgestattet, in Flug-zeuge eingebaut.

Abbildung 7: Auto Fastener Flug-zeugfensterrahmen

### Projektteam

Dr. Ing. Christian Brauner IKT christian.brauner@fhnw.ch  
Dr. Igor Zhilyaev IKT igor.zhilyaev@fhnw.ch  
Sabrina Bättig IKT sabrina.baettig@fhnw.ch  
Max Edelmann IA max.edelmann@fhnw.ch  
Claude Wenger IA claud.wenger@fhnw.ch  
Wolfgang Fischer IA, wolfgang.fischer@fhnw.ch

# IoT Messelektronik zum Erfassen von Prozesskräften

Pascal Schleuniger

Ferrum Packaging AG möchte Prozesskräfte im Innern ihrer Maschinen erfassen, um die Falzqualität der Dosen zu überwachen und Verschleissprozesse der Werkzeuge frühzeitig erkennen zu können. Zusammen mit dem Institut für Automation wird im Rahmen eines Innosuisse Projektes eine neuartige Messelektronik entwickelt, welche Prozesskräfte mit einer hohen Auflösung und Samplerate erfasst, drahtlos mittels WiFi an einen Server übermittelt und sich durch die Rotationsbewegung der Maschine selbst mit Energie versorgt.

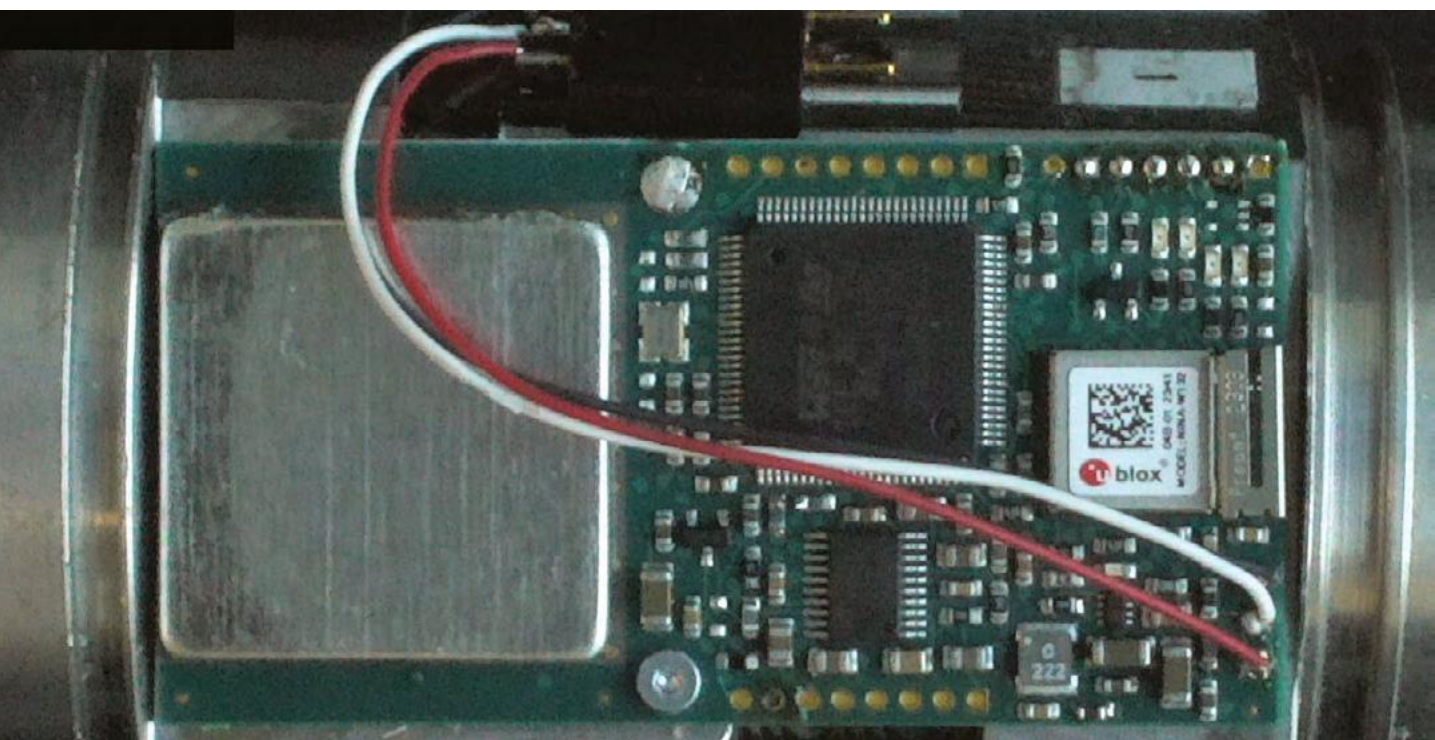


Abbildung 1: Messelektronik mit geschirmtem Analog-Frontend

**Herausforderungen**

Die Prozesskräfte werden mit speziell für diese Anwendung entwickelten Dehnmessstreifen erfasst. Diese mit Laser aufgeschweissten Dünnschichtsensoren sind temperatur- und langzeitstabil und eignen sich für Belastungsmessungen an Anlagenteilen unterschiedlichster Art. Aufgrund der hohen Prozesskräfte sind die zu überwachenden mechanischen Bauteile sehr massiv ausgeführt und verformen sich unter Belastung nur minimal. Beim Falzprozess wird weiches Aluminium verformt. Falzfehler weisen daher typischerweise einen Bruchteil der Amplitude auf und sind teils nur wenige Millisekunden erkennbar. Neben einer hohen Auflösung und Abtastrate ist die Messelektronik mit weiteren Herausforderungen konfrontiert:

- Durch das Verschweißen der Sensoren und mechanische Verspannen der Anlagenteile weisen die Messdaten einen grossen und veränderbaren Offset auf.
- Der Verstärkungsfaktor (1500x) und die Bandbreite

(10kHz) sind hoch für einen DMS Verstärker. Die Messelektronik muss auf ein geringes Rauschen optimiert werden.

- Wenige cm neben den Messsignalen im  $\mu\text{V}$ -Bereich werden Messdaten in einem Hochleistungsmikroprozessor verarbeitet und mit WiFi an einen Server gesendet. Die Messelektronik muss daher auf eine minimale Eigenstörung optimiert werden.
- Die Messelektronik wird auf einer rotierenden Welle montiert. Es müssen mehrere Sensoren ausgelesen werden, der Einbauplatz ist stark eingeschränkt und die Messelektronik muss sich aus der Rotationsbewegung selbst mit elektrischer Energie versorgen können.

**State of the Art**

Auf dem Markt gibt es aktuell keine kommerziellen Messsysteme, welche die oben genannten Anforderungen erfüllen und auf die geforderten Anzahl Sensoren skaliert

werden könnten. Um die Grenzen und Machbarkeit für eine eigene Messelektronik zu evaluieren, wurde ein Messsystem von Datatel Telemetriesysteme eingekauft und in einem experimentellen Setup mit Batteriebetrieb getestet. Das Sensorsignal wird verstärkt und direkt per Funk analog an einen Empfänger übertragen und erst dort digitalisiert. Damit wird ein Rauschen von 0.14% des Full-Scale Wertes bei einer Abtastrate von 10kHz erreicht.

**Rauschoptimierung**

Die Leitungselektronen in unbelasteten ohmschen Widerständen bewegen sich thermisch bedingt zufällig und ungerichtet. Dies wird als thermisches Widerstandsrauschen wahrgenommen und steigt mit der Wurzel der absoluten Temperatur an. Auch der Ohm'sche Widerstand hat einen Einfluss auf das Widerstandsrauschen, welches ebenfalls mit Wurzel des Widerstandswertes ansteigt. Weiter kann der technische Aufbau der Widerstände das Rauschen beeinflussen. Besonders problematisch sind dabei Kohleschichtwiderstände, welche aufgrund ihres inhomogenen Aufbaus stark rauschen. Heute werden in der Elektronik vorwiegend Dickschichtwiderstände eingesetzt, welche mit einer dicken Metallschicht realisiert werden. Dünnschichtwiderstände weisen aufgrund ihrer homogenen Struktur einen wesentlich geringeren Rauschpegel auf, sind jedoch teurer in der Herstellung als Dickschichtwiderstände und werden daher selten eingesetzt.

Die Messelektronik ist bezüglich des Rauschens so optimiert, dass möglichst niederohmige Dünnschichtwiderstände in dem Signalpfad des Verstärkers eingesetzt werden. Ein aktives Anti-Aliasing Tiefpassfilter zweiter Ordnung dämpft hochfrequentes Rauschen. Um die Eigenstörung der sensiblen analogen Verstärkerschaltung zu minimieren ist wie in Abbildung 1 gezeigt, eine EMV-Metallhaube verbaut. Alle Zuleitungen sind mit Filtern in diesen Faraday'schen Käfig geführt.

**AC-Kopplung für automatische Offset Entfernung**

Um den Offset der Signale zu kompensieren, kann die Referenzspannung der Eingangsverstärkerstufe laufend angepasst werden. Dies erfordert jedoch einen Digital zu Analog Wandler und einen Softwarealgorithmus. Zudem werden Störungen auf dieser Referenzspannung direkt auf das Signal gekoppelt. Aus diesem Grund wird auf einen Offset Abgleich verzichtet und stattdessen werden die DC-Anteile des Signals durch eine AC-Kopplung entfernt. Da die typische Prozessdauer weniger als eine Sekunde beträgt, wurde eine untere Grenzfrequenz von 1Hz für die AC-Kopplung gewählt. Diese AC-Kopplung kann auf zwei Arten realisiert werden, entweder mit einem Eingangsfilter oder einem Integrator am Referenzeingang des Instrumentenverstärkers. Beide Lösungen sind in der Abbildung 2 dargestellt.

Da die Widerstandswerte des Sensors relativ hoch sind, müssen für die Realisierung des Eingangsfilters sehr hochohmige Widerstände verbaut werden, um die Amplitude des Signals nicht zu dämpfen. Das Widerstandsrauschen dieses Eingangsfilters wird mitverstärkt und führt zu einem Rauschen von 0.038% des Full-Scale Wertes. Bei der AC

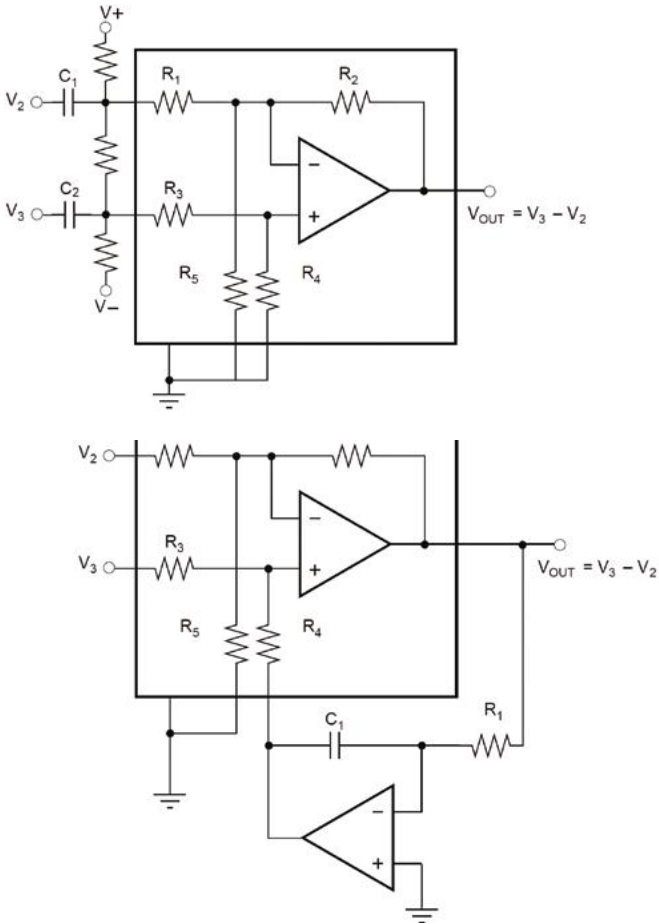


Abbildung 2: Differenzverstärker AC Kopplung mit Filter (oben) und Integrator (unten)

Kopplung mit Integrator kann auf Widerstände vor dem Eingangsverstärker verzichtet werden. Damit wird das Rauschen zwar weiter reduziert, aber eingekoppelte Störungen, z.B. der Netzspannung aus der Umgebung, verhindern eine noch höhere Auflösung des Messsignals. Die Rauschbänder des Messverstärkers vor der Rauschoptimierung, des kommerziellen Messsystems und den beiden optimierten AC-gekoppelten Schaltungen ist in Abbildung 3 ersichtlich. Da der vorgestellte IoT Messverstärker dank digitaler Signalübertragung keine Fehler dazu addiert, wird eine um den Faktor 3.7 bessere Signalqualität gegenüber dem kommerziellen Mess-System mit analogem Funk erreicht.

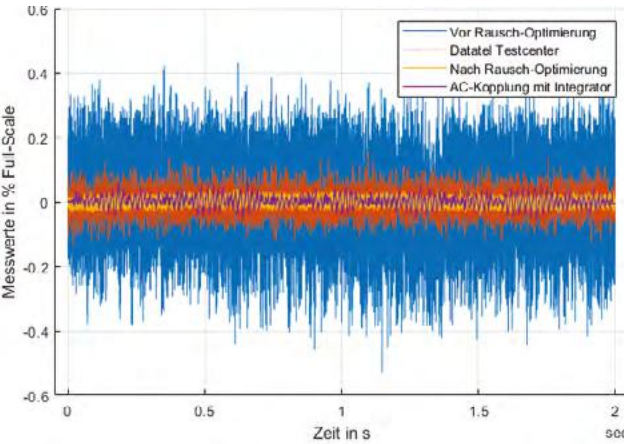


Abbildung 3: Rauschvergleich

Energieversorgung

Speisungen, Mikrocontroller, Analog zu Digital Wandler und das Wifi-Modul der Messelektronik benötigen für drei Messkanäle rund 1.5W Leistung. Diese wird mit einem Energy-Harvester erzeugt, welcher durch die Rotationsbewegung erzeugte magnetische Flussänderungen in den Spulen nutzt. Im laufenden Projektjahr ist der Energy-Harvester optimiert worden, indem die Fertigung mit einem Roboter automatisiert ausgeführt wird. Abbildung 4 zeigt die Vorrichtung, mit welcher der Roboter die Windungen der Spulen realisiert. Die Blechpakete sind mit Nutisolationen versehen, damit die Isolationsschicht der Kupferdrähte nicht beschädigt wird. Durch die automatisierte Fertigung wird eine wesentlich höhere Wicklungsdichte erreicht als bei den bis anhin von Hand gewickelten Spulen. Damit kann die geforderte Energie bereits ab 800 U/min erreicht werden. Ein komplett montierter Energy Harvester mit Elektronik ist in Abbildung 5 zu sehen.

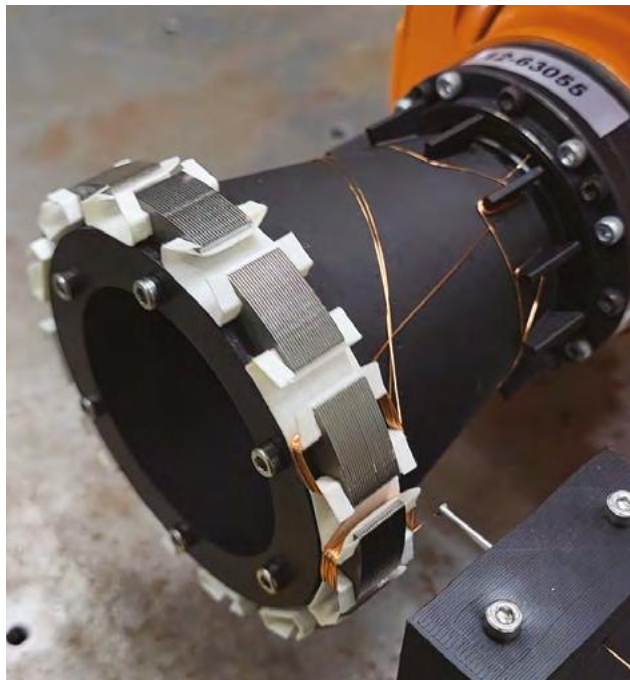


Abbildung 4: Roboter-gesteuertes Wickeln der Harvester-Spulen

Fazit/Ausblick.

Mit der überarbeiteten Messelektronik konnte ein äusserst rauscharmes, kompaktes und skalierbares Messsystem realisiert werden. Die effektive nutzbare Auflösung des Signales beträgt 11.3 Bit bei einer Abtastrate von 25kHz. Aktuell werden die Elektronik industriell gefertigt und die Software finalisiert. Im laufenden Jahr sind umfangreiche Feldtests geplant.

Projektteam

Prof. Dr. Pascal Schleuniger pascal.schleuniger@fhnw.ch  
Prof. Michael Böller michael.boeller@fhnw.ch  
Prof. Dr. Marcel Steiner marcel.steiner@fhnw.ch  
Marius Lurf marius.lurf@fhnw.ch  
David Schiltges david.schiltges@fhnw.ch  
Tim Ecknauer tim.ecknauer@fhnw.ch

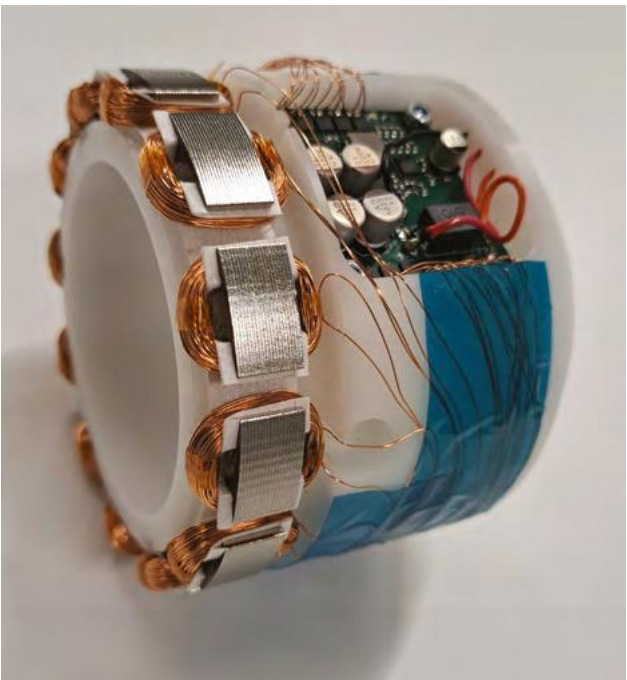


Abbildung 5: Kompletter Energy Harvester mit Elektronik

# Ihre Weiterbildung in Automatisierungstechnik

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

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



Nächster Start: 1. September 2025

[www.fhnw.ch/mas-automation](http://www.fhnw.ch/mas-automation)

Kontakt

Michael Böller, Leiter MAS Automation Management,  
T +41 56 202 77 92, michael.boeller@fhnw.ch  
Gabriella Gerber, Sekretariat, T +41 56 202 72 18,  
weiterbildung.technik@fhnw.ch

**Besuchen Sie unsere Infoveranstaltung – wir informieren Sie gerne:**  
Montag, 5. Mai 2025, 18.15 Uhr (Windisch)  
Mittwoch, 25. Juni 2025, 18.15 Uhr (online)  
Montag, 27. Oktober 2025, 18.15 Uhr (online)  
Mittwoch, 14. Januar 2026, 18.15 Uhr (hybrid)

Details siehe: [www.fhnw.ch/weiterbildung-technik](http://www.fhnw.ch/weiterbildung-technik)



# Hackobot: ein mechanischer Unkrautvernichter für die industrielle Landwirtschaft

Thomas Kuhn

Das Institut für Automation hat in Zusammenarbeit mit der Firma Strebel Maschinen AG ein innovatives Hackgerät entwickelt, das den Herausforderungen der modernen Landwirtschaft begegnet. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Systems zur mechanischen Unkrautbekämpfung in der industriellen Landwirtschaft, speziell zwischen den Saatzeilen. Das System nutzt sogenannte Hackscharen, die das Unkraut zwischen den Reihen mittels Klingen knapp unterhalb der Erdoberfläche abschneiden, ohne auf Herbizide zurückgreifen zu müssen. Dieses Innosuisse-Projekt stellt einen wichtigen Fortschritt in der nachhaltigen Landwirtschaft dar.



Abbildung 1: Der Prototyp 3 Hackobot

### Der Prototyp 3 und seine Vorstellung

In diesem Jahr wurde der dritte Prototyp gebaut. Dieser umgeht ein mühsames Patent eines österreichischen Landmaschinenherstellers, welcher faktisch alle Parallelogramme im Bereich des landwirtschaftlichen Hackens auf europäischer Ebene patentiert hat. Wir mussten lernen, dass das europäische Patentamt gerne fragwürdige Patente genehmigt, weil es sich aufgrund der Finanzierung durch Gebühren einen Rekurs erhofft. Diese Praxis des europäischen Patentamtes ist im Minimum fragwürdig. Als Reaktion darauf hat der Industriepartner den dritten Prototypen selbst patentiert. Die Patentprüfung kam zum Schluss, dass das Gerät sowohl innovativ ist als auch die bisherigen Patente nicht verletzt.

Der Prototyp 3 – genannt Hackobot – fand seine erste öffentliche Präsentation auf der Agrama 2025 in Bern, einer der grössten Messen für Landtechnik in der Schweiz. Die

Innovation wurde von Fachleuten aus der Branche sehr gut aufgenommen. Im Rahmen des „Swiss Innovation Award“ erreichte der Prototyp den 2. Platz.

### Technische Herausforderungen und Weiterentwicklungen

Die Feldtests in diesem Jahr standen unter einem schlechten Stern. Aufgrund des enorm vielen Regens in der Hacksaison konnte der Prototyp 3 im Spätfrihling und Frühsommer kaum getestet werden. Der Industriepartner säte immer wieder Mais an, welchen wir für unsere Tests nutzen konnten. Von diesen Testreihen konnten wir aufgrund des Wetters weniger als 50% überhaupt nutzen. Zu nass waren die Felder und das Risiko bestand, mit dem Traktor stecken zu bleiben.

In den Tests wurden dann doch zwei Schwächen im Design identifiziert, die es zu adressieren gilt. Ein Problem besteht im Bereich der Hydraulik: Der Druck der Hackscharen wird



Abbildung 2: Wo ist der Mais in der Gründung?

derzeit ausschliesslich durch das Eigengewicht des Hackkörpers erzeugt. Bei harten Böden ist dies jedoch nicht ausreichend, sodass die Klingen nicht tief genug in den Boden eindringen können, um das Unkraut effektiv zu entfernen. Um diese Schwäche zu beheben, wird nun eine Druckregelung entwickelt, die es ermöglicht, den Druck der Klingen auf den Boden je nach Bedarf einzustellen. Dies soll sicherstellen, dass das Gerät auch auf schwierigen Böden effizient arbeitet und das Unkraut zuverlässig entfernt wird.

Das zweite Problem betrifft die Saatzeilendetektion. Um die Sollposition der Hackkörper zu messen, werden zwei Kameras (links und rechts des Traktors) verwendet. Bisher wurde eine Lösung mittels klassischer Bildverarbeitung entwickelt (Vorge stellt im Tätigkeitsbericht 2023). Bei starkem Unkrautbewuchs und in Maisfeldern mit Gründung stösst dieser Algorithmus an seine Grenzen. Dennoch wird jetzt ein neuronales Netz (CNN oder RNN) entwickelt, welches diese Grenzen durchbrechen soll. Dabei soll auch der Parametrisierungsaufwand durch den Benutzer reduziert werden. Im bisherigen System muss der Benutzer 8 Parameter der Software übergeben (Saatzeilenbreite, Wachstumszustand, etc.). Die Tests haben gezeigt, dass dies zum Teil immer noch zu viele sind. Die neuronalen Netze werden dahingehend trainiert, dass der Algorithmus diese Parameter selbstständig identifiziert. Die Evaluation dieses Algorithmus wird im Frühling 2025 stattfinden.

Neben den Schwächen haben sich in den Tests auch Stärken gezeigt. Die Hardwarearchitektur wurde als dezentrale Baumstruktur implementiert. Die zentrale Steuerung bewältigt die Bildverarbeitung und sendet die Sollwerte für Position, Breite und Aushebung des Hackkörpers an die Mikrocontroller der Hackkörper. Jeder Hackkörper hat einen eigenen Mikrocontroller, welcher die Regelung für Position, Breite und Ausheben übernimmt. Gleichzeitig ist hier auch die Logik angesiedelt, wenn die drahtlose Kommunikation zwischen den Hackkörpern und dem Zentrum versagt. Diese Struktur hat sich als robust und relativ unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen gezeigt. Einzig als an der Agrama 40 WLAN Netze in direkter Umgebung das Netzwerk störten, musste der Router durch eine Variante mit grösseren Antennen ersetzt werden.

Eine weitere Stärke betrifft die Zusammenarbeit zwischen dem IA und der Strebel Maschinen AG. Die Schnittstelle bei der Spule der Hydraulikventile war klar gezogen. Der Industriepartner ist für die Hydraulik und die Mechanik zuständig. Das IA entwickelt die gesamte Elektronik und die (intelligente) Steuerung. Gegenseitiger Respekt und Verständnis für die jeweiligen Aufgaben resultierten in einer äusserst effizienten Zusammenarbeit. Trotzdem hat sich das Projekt über die gesamte Laufzeit um ein Jahr verzögert. Daran ist aber klar das Wetter schuld. Dies hat auch die Innosuisse erkannt und das Projekt um ein Jahr verlängert.

### Fazit und Ausblick

Das Hackerprojekt des Instituts für Automation hat mit dem Prototyp 3 einen vielversprechenden Schritt in Richtung einer nachhaltigeren und effizienteren Landwirtschaft gemacht. Der mechanische Ansatz zur Unkrautbekämpfung zwischen Saatzeilen stellt eine umweltfreundliche Alternative zu Herbiziden dar und bietet grosses Potenzial für die landwirtschaftliche Praxis.

Die bereits erzielten Fortschritte sind ein Beweis für das Potenzial der entwickelten Technologie. Mit der geplanten Weiterentwicklung der Hydrauliksysteme und der Integration eines neuronalen Netzwerks zur Verbesserung der Saatzeilendetektion soll der Prototyp 3 in Zukunft noch leistungsfähiger und robuster werden. Die Vereinfachung der Bedienung wird zusätzlich dazu beitragen, das Gerät für die Landwirte attraktiver zu machen und den Arbeitsaufwand in der Praxis zu minimieren.

### Industriepartner

Strebel Maschinen AG, Waltenschwil

### Projektteam

Prof. Dr. Jürg Keller, Projektleiter, FHNW  
juerg.keller1@fhnw.ch  
Daniel Jakober, wissenschaftlicher Assistent, FHNW  
daniel.jakober@fhnw.ch  
Thomas Kuhn, wissenschaftlicher Assistent, FHNW  
thomas.kuhn@fhnw.ch

# Robot Hub Academy

Daniel Treyer

Das Projekt Robot Hub Academy adressiert den Fachkräftemangel in der Robotik am Hochlohnstandort Oberrhein. Ziel ist die Förderung von MINT-Interesse bei Schüler:innen und die Aus- und Weiterbildung in der Robotik durch Demonstratoren, Workshops und einen herstellerunabhängigen Roboterführerschein.

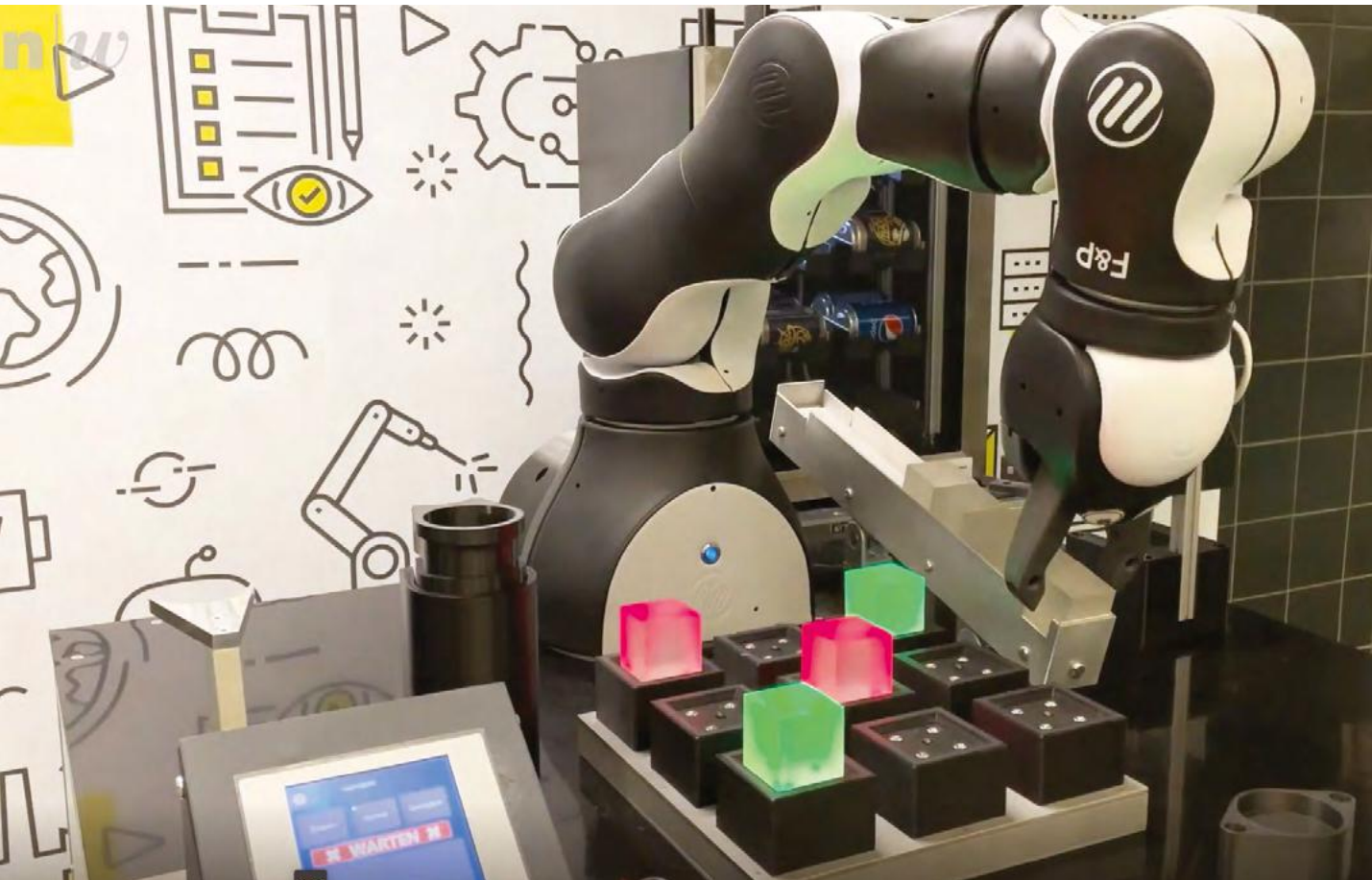


Abbildung 1: TicTacToe-Demonstrator mit kollaborativem Roboter

## Ausgangslage

Zurzeit interessieren sich immer weniger Schüler:innen für eine Ausbildung oder ein Studium im MINT-Bereich (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik). Dies führt dazu, dass in der Robotik-Branche in den nächsten 5 bis 10 Jahren ein enormer Fachkräftemangel zu erwarten ist. Eine mögliche Ursache für die schwindenden Zahlen sind die wenigen vorhandenen Berührungspunkte mit industrieller Technologie im Alltag der meisten Schüler:innen.

Auf der Stufe der Berufslehre und der beruflichen Weiterbildung sind gerade kleinere Betriebe häufig nicht in der Lage, ausführliche Schulungen mit Robotern oder vergleichbarer anspruchsvoller Technologie durchzuführen. Bereits angebotene Roboter Schulungen mit anschliessendem Erwerb eines Zertifikats sind üblicherweise herstellergelungen und damit wenig adaptiv, und leiden zudem unter einer geringen Anzahl verfügbarer Schulungsplätze.

Entsprechend schwer fällt es Anwenderunternehmen, die noch keine Erfahrung mit Robotern gemacht haben, eine erste Roboter-Applikation ohne Hilfe umzusetzen. Auf der anderen Seite haben die Ausrüster und Integratoren, welche Roboter-Applikationen als Dienstleistung konzipieren und realisieren, nicht genügend Fachkräfte, um allen Anfragen nach neuen Automatisierungslösungen gerecht zu werden.

## Zielsetzungen

Die Region Oberrhein ist als Hochlohnstandort besonders von diesen Herausforderungen betroffen. In diesem Projekt wird deshalb ein internationaler Hub für die Robotik aufgebaut, dessen Partner den Schwierigkeiten mit verschiedenen Massnahmen begegnen. Die Partner - neben dem Institut für Automation unter anderem die Hochschule Karlsruhe, die Hochschule Offenburg, die Universität de Haute-Alsace und die Hochschule Trier – bringen unterschiedliche fachliche Spezialisierungen mit und decken räumlich die ganze Region Oberrhein ab.

Robot Hub Academy soll den Themenbereich Robotik in der Region Oberrhein stärken und verschiedene Partner miteinander vernetzen. Das Projekt verfolgt die beiden folgenden grundlegenden Zielsetzungen: Die Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitenden aus KMUs sowie von Studierenden und Promovierenden im Bereich der Robotik soll gefördert werden. Schüler:innen werden vor der Berufswahl durch attraktive Massnahmen für MINT-Studiengänge begeistert, um so dem Fachkräftemangel entgegen zu wirken.

## Massnahmen

Im Rahmen des Projektes werden verschiedene themenspezifische Demonstratoren aufgebaut und erweitert. Die Demonstratoren basieren auf aktuellen Technologien und werden in der Aus- und Weiterbildung eingesetzt. Weiter dienen sie dazu, das Thema der Robotik auf Messen und Informationsveranstaltungen zu bewerben. Die Abbildung 1 zeigt einen Demonstrator des Instituts für Automation. Auf spielerische Weise kann eine interessierte Person mit einem kollaborativen Roboter interagieren und ihr Glück im TicTacToe-Spiel versuchen.

Weiter wird in Zusammenarbeit zwischen den Bildungseinrichtungen und den Industrie- und Handelskammern ein Roboter-Führerschein entwickelt. Der Grundgedanke ist, ein herstellerunabhängiges Curriculum zu definieren, welches eine solide Grundausbildung darstellt. Als Weiterqualifizierungsmassnahme für Mitarbeitende aus der Industrie oder für Studierende kann als Abschluss eines Lehrgangs ein Zertifikat erworben werden.

Das Robot Hub Academy Projekt wird durch Interreg Oberrhein, einem Programm der Europäischen Union, gefördert. Für das Institut für Automation als Schweizer Projektpartner erfolgt die Kofinanzierung durch die Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Aargau sowie die Schweizerische Eidgenossenschaft. Im Schwesterprojekt Robot Hub Transfer werden KMUs dabei unterstützt, Robotersysteme sinnvoll und kosteneffizient zu implementieren.

## Links:

<https://robot-hub.eu>

<https://www.interreg-oberrhein.eu>

## Projektteam

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

Wolfgang Fischer, Fachspezialist für angewandte Robotik, [wolfgang.fischer@fhnw.ch](mailto:wolfgang.fischer@fhnw.ch)

Yannick Christen, wissenschaftlicher Assistent, [yannick.christen@fhnw.ch](mailto:yannick.christen@fhnw.ch)

Prof. Dr. Daniel Treyer, Dozent, [daniel.treyer@fhnw.ch](mailto:daniel.treyer@fhnw.ch)

# Funktionsprüfanlage für EDS-Geräte

Jürg Peter Keller

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Sauerstoffdosiergeräten (EDS) wurde in einem Studierendenprojekt eine Testanlage realisiert. Die Funktion des EDS kann komplett überprüft werden. Die resultierenden Prüfreports können im Feld über IoT auf einen Webserver hochgeladen werden und sind dort für die Nutzer jederzeit abrufbar.



Abbildung 1: Segelflugzeug in grosser Höhe

Die mentale Leistungsfähigkeit und körperliche Fitness von Segelpiloten wird deutlich verbessert, wenn ab 3000 m.ü.M. die Atemluft mit Sauerstoff angereichert wird. Bei grösseren Höhen ist dies zwingend erforderlich.

Die Anreicherung der Atemluft wird mit Hilfe eines EDS-Gerätes realisiert. Dieses dosiert höhenabhängig einen Sauerstoffimpuls über eine Nasenkanüle in die eingeatmete Luft. Die richtige Funktion des EDS ist sicherheitsrelevant. So verfügt das EDS über verschiedene Selbst-diagnosemöglichkeiten. Diese setzen aber einen richtig funktionierenden Drucksensor voraus. Da dies aber nicht garantiert ist, braucht es ein Testgerät, das die Funktion des EDS über den ganzen Höhenbereich prüft. Ein solches Testgerät wurde darum in Studierendenprojekten im Studiengang Systemtechnik realisiert. Finanziert wurde das Projekt vom Aviatik Fonds des Aero Clubs.

### Beschreibung des Testsystems

Die wichtigste Funktion des Testgeräts ist die realitätsnahe Simulation der Drucksignale. Beim Einatmen entsteht

in der Nasenkanüle ein Unterdruck. Dieser triggert einen Sauerstoffimpuls, dessen Länge von der Höhe, d.h. vom Umgebungsdruck abhängig ist. Der Druckverlauf beim Einatmen wurde analysiert und im Testgerät möglichst realitätsnah nachgebildet. Da der Sauerstoff des Impulses abgeführt werden muss, wurde eine der Nase entsprechende Simulationseinrichtung gebaut. Diese ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 2 zeigt das Prinzipschema des Prüfgeräts. Für die Lösung müssen verschiedene Ziele gleichzeitig erfüllt werden. Es muss der Absolutdruck entsprechend der simulierten Flughöhe regelbar sein und durch die Atmungssimulation nur minimal beeinflusst werden. Die Atmungssimulation muss in der Lage sein, Trajektorien für kleine Druckdifferenzen möglichst verzugslos generieren zu können. Zudem muss der Sauerstoff entsprechend der Atmung abgesaugt werden. Alle diese Anforderungen können mit der Lösung in Abbildung 2 realisiert werden. Die Vakuumpumpe erzeugt einen Luftstrom durch die ganze Anlage. Der Durchfluss wird gemessen und über das

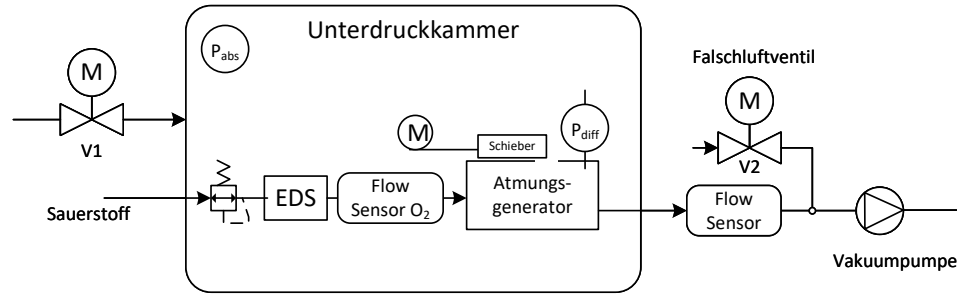


Abbildung 2: Prinzipschema Prüfgerät

Falschluffventil geregelt. Aufgrund des konstanten Durchflusses kann der Differenzdruck über die Position eines Schiebers einfach eingestellt werden. Eine Verkleinerung des freien Querschnitts führt zu einem grösseren Druckabfall. Ein Servo generiert dadurch über die Schieberposition verzugsfrei die gewünschte Unterdrucktrajektorie.

Wird ein Sauerstoffimpuls im EDS ausgelöst, so wird die dosierte Sauerstoffmenge mit einem Durchflusssensor gemessen. Über das Einlassventil V1 wird der Druck in der Unterdruckkammer geregelt. Das ganze System wurde physikalisch modelliert und damit die Regelung entworfen und getestet.

Ein Farbsensor ermöglicht das Erfassen der Alarmanzeige. Somit ist es möglich, das Verhalten des EDS für verschiedene Flughöhen zu prüfen. Der Auslösedifferenzdruck kann bestimmt werden und die Sauerstoffdosierung in Abhängigkeit der Flughöhe gemessen werden.

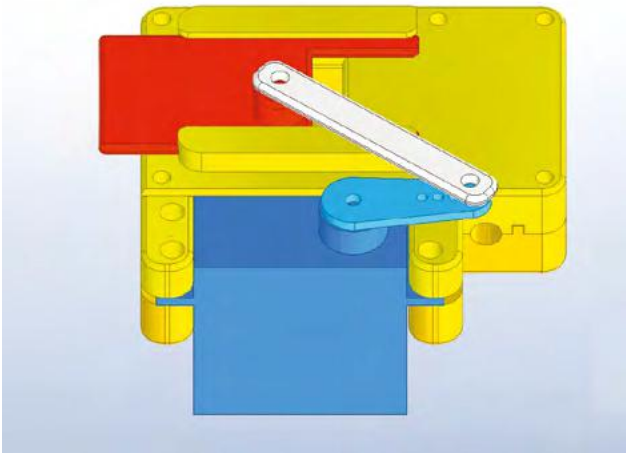


Abbildung 3: Schieber für Atmungssimulation

Ein typischer Prüfablauf ist in Abbildung 4 dargestellt. Zu Beginn jeder Pulssequenz ist ein erster Puls sichtbar, der für das Erlernen der Schieberpositionen nötig ist. Alle durch das EDS erkennbaren Fehler, wie z.B. fehlender Durchfluss und Atemstillstand können simuliert werden und mit dem Farbsensor die richtige Anzeige überprüft werden. Die Resultate einer Funktionsprüfung werden in einem Prüfreport dokumentiert.

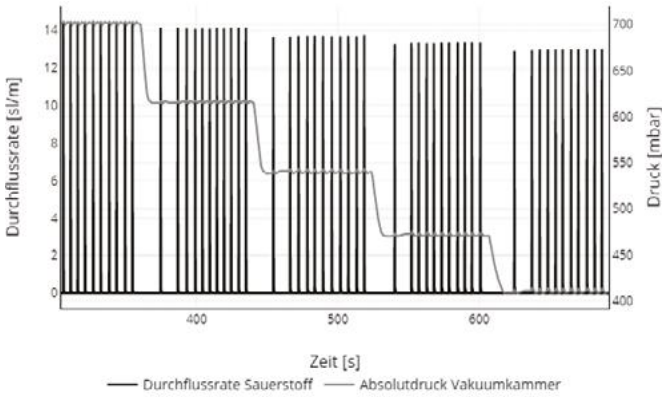


Abbildung 4: Prüfablauf

Für die Verwaltung der Testresultate und der Prüfreports verfügt das Testgerät über eine IoT-Schnittstelle. Diese ermöglicht die Übertragung der Daten auf einen Webserver. Über ein Benutzerinterface können für die EDS Zuständige die Prüfresultate verwalten.

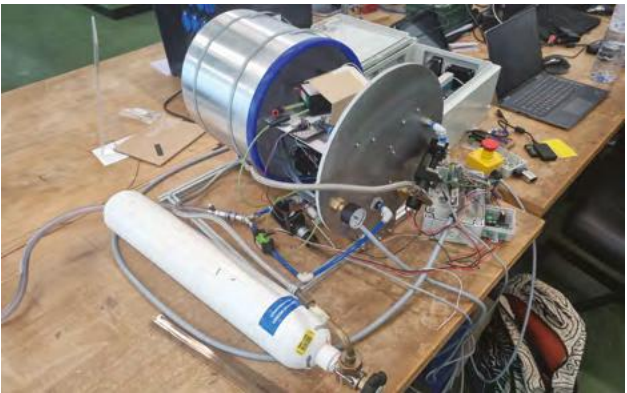


Abbildung 5: EDS Funktionsprüfanlage

Die Steuerung und Regelung wurde auf einem Raspberry Pi implementiert und kann über einen Touchbildschirm bedient werden.

Dank der mobilen Prüfanlage (Abbildung 5) können die EDS-Geräte direkt auf dem Flugplatz geprüft werden und die ausgewerteten Daten an den Webserver gesendet werden.

### Projektteam

Pascal Mörgeli, Joel Bär, ehem. Studenten Systemtechnik FHNW  
Prof. Dr. Jürg Keller, Projektbetreuer FHNW,  
juerg.keller1@fhnw.ch

# FIRST LEGO League: "MASTERPIECE"

Thomas Kuhn

FIRSTTM LEGO® League ist ein Förderprogramm, das Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 9 - 16 Jahren in einer sportlichen Atmosphäre an Wissenschaft und Technologie heranzuführen möchte. Das Institut für Automation (IA) hat in diesem Jahr erneut einen spannenden FIRST LEGO League – Challenge - Wettbewerb ausgerichtet, bei dem junge Talente im Bereich der Technik und Kreativität gegeneinander antraten. Die Saison 2024 stand unter dem Motto „MASTERPIECE.“ In dieser beschäftigten sich die 18 teilnehmenden Teams mit der Frage: „Wie könnt ihr moderne Technologie und Künste nutzen, um andere für eure Leidenschaften zu begeistern und zu gewinnen?“



Abbildung 1: ein kleines Team an der Live-Challenge

Der FLL-Wettbewerb bestand auch dieses Jahr aus vier Teilen:

1. Robot-Games: Es ist eine Sammlung von Aufgaben gegeben, die mit einem selber gebauten Roboter auf einem vorgegebenen Spieltisch gelöst werden müssen. Jede gelöste Aufgabe ergibt Punkte und es ist natürlich das Ziel, so viele Punkte wie möglich innerhalb von 2.5 Minuten zu sammeln.
2. In einer Forschungsaufgabe müssen sich die Teams mit dem Thema des Wettbewerbs intensiv auseinandersetzen und ihre Resultate in einer Präsentation dem Publikum und der Jury vorstellen. Eine schwierige Arbeit müssen die Juroren bei der Bewertung der

Forschungsarbeit und Präsentation leisten. Erstaunlich sind immer die grosse Vielfalt der Arbeiten und auch die unterschiedlichsten Präsentationsarten. Die zur Vorbereitung verfügbare und investierte Zeit bestimmt auch sehr stark das Resultat. Ein Team hat hier sogar eine App programmiert, welche die Nutzer dazu animieren soll, Velo zu fahren oder einen Orientierungslauf zu absolvieren. Die App ist im Play-Store verfügbar:

3. Ausserhalb des offiziellen Teils des FLL-Wettbewerbs führen wir in Brugg stets eine „Live Challenge“ durch. Hier wurden die Problemlösungsfähigkeiten und



die Fähigkeit zur Zusammenarbeit getestet, ohne dass Coaches unterstützend oder führend eingreifen konnten. Dazu erhielten die Teams einen von uns gebauten Roboter und mussten diesen in einer zuvor unbekannten Aufgabe innerhalb von 30 Minuten programmieren. Riesig war die Freude bei den Teams, welchen es gelungen ist, die Aufgabe zu lösen.

4. Zur Bewertung des Robotikdesigns müssen die Teams erklären, warum sie den Roboter so gebaut haben und auch wie sie die Software erstellt haben. Aufgrund der vorangegangenen Live Challenge ist es dann auch gut abschätzbar, was die Jugendlichen selber geleistet haben und was der Coach beigetragen hat.



Abbildung 2: Das Robot-Game

Am Nachmittag findet dann der eigentliche Höhepunkt des Wettbewerbs statt: die Robot-Games. Alle Tüfteleien und Programmierungen werden nun im Ernstfall geprüft. Mit viel Konzentration bedienen zwei Jugendliche ihren Roboter, damit möglichst viele Punkte gesammelt werden können.

In drei Vorrunden werden Punkte gesammelt, die für die Qualifikation zur Cup-Ausscheidung nötig sind. Schiedsrichter wachen darüber, dass alles mit rechten Dingen zu und her geht und bestimmen mit den Teams die Bewertung der gelösten Aufgaben. Die qualifizierten Teams messen sich dann Runde um Runde und die Spannung

steigt bis zum Final, dem Duell der beiden besten Roboter. Nach dem Final kehrt Ruhe ein und die Teams warten auf die Rangverkündigung.

Die Leistungen der Teams werden durch 16 Jurymitglieder bewertet, welche alle freiwillig und ehrenamtlich ihren Einsatz leisteten. Allen Helfern sei an dieser Stelle herzlichst gedankt. Jury und Schiedsrichter sind am Abend zwar sehr müde, können aber auch die schönen Eindrücke der motivierten und fröhlichen Jugendlichen nach Hause nehmen. Leider gelingt es nur sehr selten, die Medien zu einer Reportage über solche Ereignisse zu motivieren. Konstruktive Intelligenz, deutlich sichtbar in genialen Robotiklösungen und Forschungspräsentationen, und eine die Zukunft tragende Jugend scheinen nicht im Interesse der Medien zu liegen. Die FHNW und dem IA liegen diese Kompetenzen unserer jungen Generation nach wie vor am Herzen. Mit der Pensionierung von Prof. Dr. Jürg P. Keller, welcher die Organisation des FLL-Events rund 30 Jahre geleitet und überwacht hat, übernahm Thomas Kuhn diese Aufgabe seit diesem Jahr als Hauptverantwortlicher offiziell. Er hofft, dass er die grosse Lücke ausfüllen kann, die Jürg Keller hinterlässt. Glücklicherweise steht er auch im kommenden Jahr als Helfer zur Verfügung. An dieser Stelle sei Jürg Keller herzlich für seinen Einsatz der letzten vielen Jahre gedankt.

Das Institut für Automation ist stolz darauf, auch in dieser Saison Teil dieses einzigartigen Programms zu sein. Der Wettbewerb hat einmal mehr gezeigt, wie wichtig es ist, junge Menschen für MINT-Themen zu begeistern und sie dazu zu ermutigen, ihre Kreativität und Leidenschaft für Technik und Kunst zu entfalten. Wir freuen uns schon jetzt auf die nächste Saison (Submerged) und sind gespannt, welche innovativen Ideen die Teams im kommenden Jahr präsentieren werden.

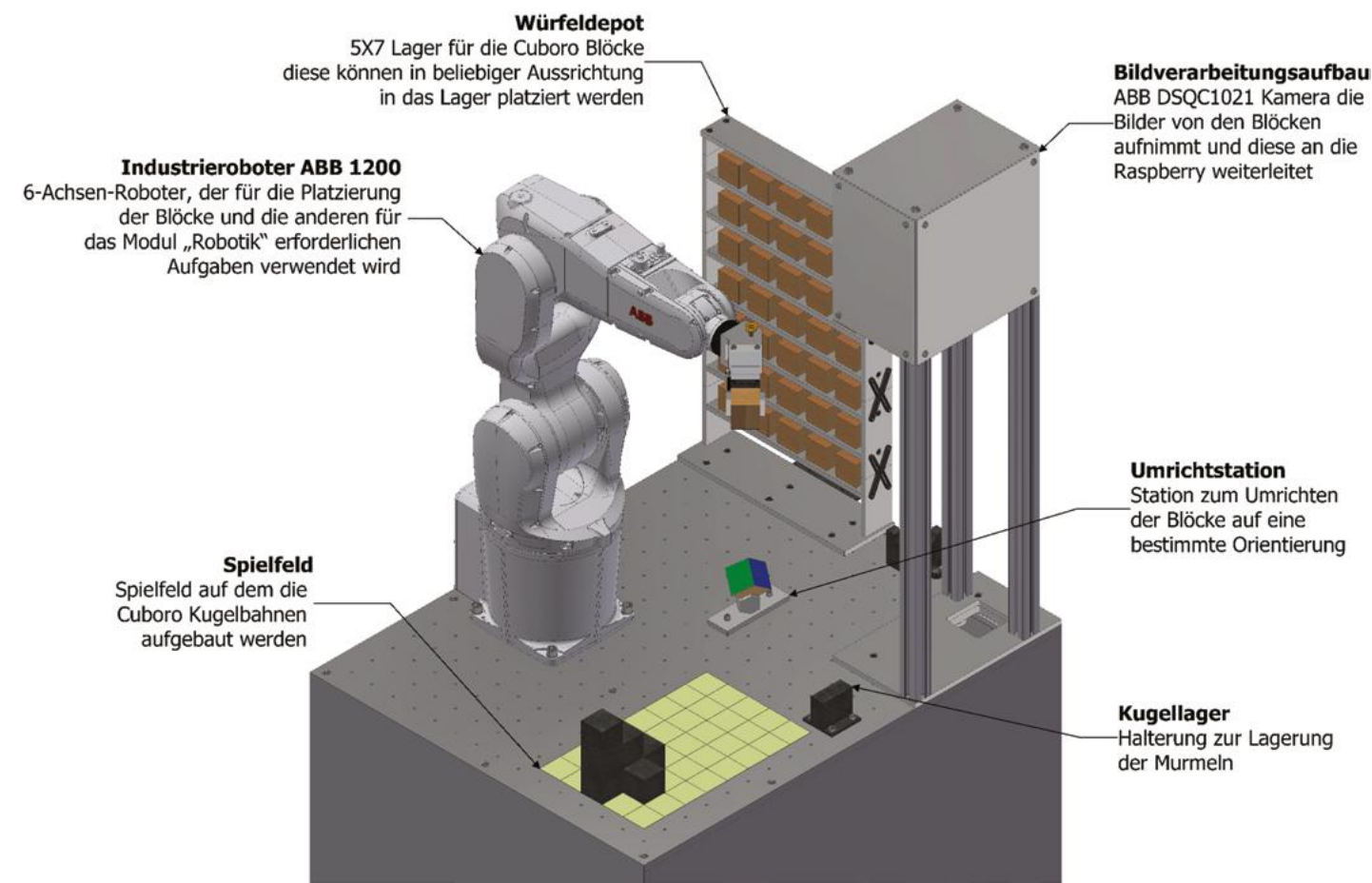
### Projektteam

Thomas Kuhn, wissenschaftlicher Assistent, FHNW,  
thomas.kuhn@fhnw.ch  
Prof. Dr. Jürg Keller, Projektleiter, FHNW,  
juerg.keller1@fhnw.ch

# Weiterentwicklung des Vision Systems für CUBORO Kugelbahn

Haris Mehinovic

Im Robotik-Modul lernen Studierende den Umgang mit Industrierobotern durch Manipulation von CUBORO-Würfeln. In einem Studierendenprojekt wurde die Roboterstation mit einem Image Processing Modul ausgestattet. Die Bildverarbeitung ermöglicht die autonome Erkennung des Würfeltyps ohne manuelle Vorsortierung und fördert die Lehre in Computer Vision.



Das Projekt beschäftigte sich mit der Weiterentwicklung eines bestehenden Robotersystems, das für den Aufbau von CUBORO-Kugelbahnen im Unterricht verwendet wird. Die bisherige Lösung erforderte, dass die Holzwürfel manuell in einer spezifischen Reihenfolge und Ausrichtung in ein Depot gelegt werden mussten. Ziel war es, diesen Prozess zu automatisieren, sodass die Würfel unabhängig von Reihenfolge und Orientierung erkannt, sortiert und positioniert werden können.

### Aufbau des Bildverarbeitungsprozesses

Der Bildverarbeitungsprozess im Projekt umfasste mehrere aufeinanderfolgende Schritte. Zunächst fokussiert die Ka-

mera das Bild auf die Region of Interest, um sicherzustellen, dass die relevanten Würfelseiten optimal im Bild hervorgehoben werden. Anschliessend wird das Bild mittels einem Raspberry Pi vorverarbeitet, um lokale Kontraste zu verbessern, was die Identifikation des Würfeltyps vereinfacht. Nach der Vorverarbeitung extrahiert der Algorithmus Schlüsselpunkte aus den Würfelseiten. Diese Merkmale dienen dazu, die Seiten zu identifizieren und ihre Orientierung zu bestimmen. Um die Klassifizierung zu ermöglichen, vergleicht das System die extrahierten Merkmale mit einer zuvor erstellten Datenbank, die alle Würfelseiten und ihre Merkmale enthält. Abschliessend übermittelt der Raspberry den identifizierten Würfeltyp über TCP/IP an die Robotersteuerung.

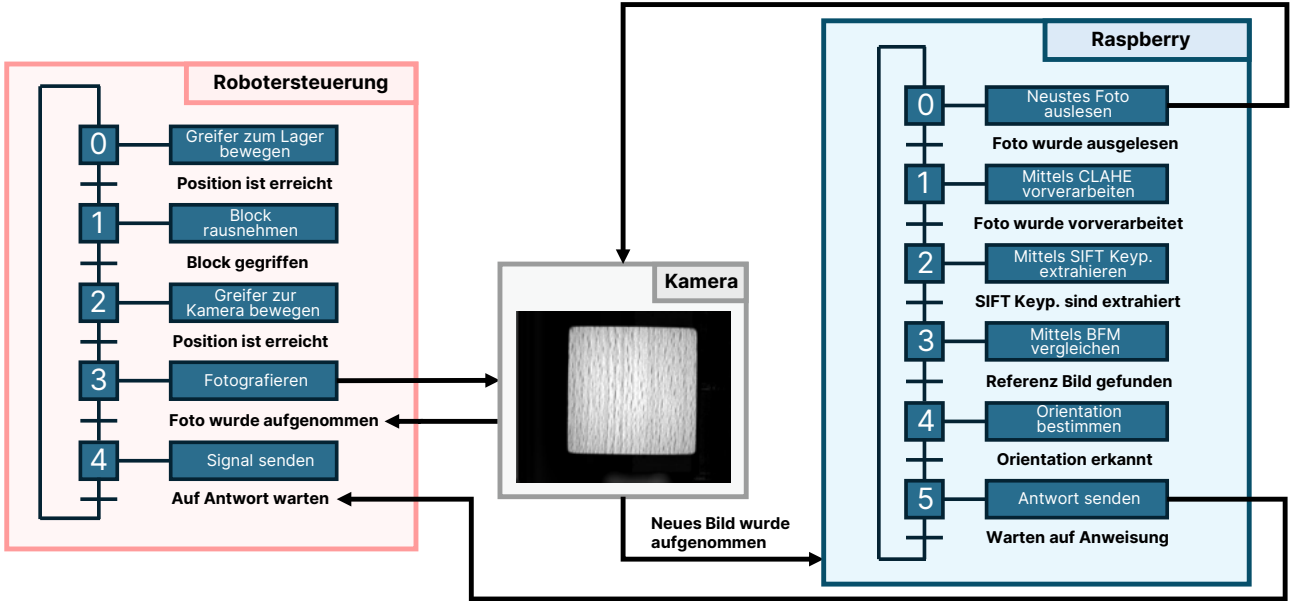


Abbildung 1: Schematische Zusammenfassung des Bildverarbeitungsprozesses

Die Identifikation eines einzelnen Würfeltyps, einschliesslich Bildaufnahme, Vorverarbeitung, Merkmalsextraktion und Klassifizierung, dauert rund 8 Sekunden. Für alle 32 Würfel, von der Erkennung bis zur finalen Platzierung im Würfeldepot, benötigt der gesamte Vorgang insgesamt 12 Minuten und 50 Sekunden.

### Vorverarbeitung der Bilder

Um die beste Methode für die Vorverarbeitung der Bilder zu bestimmen, untersuchte das Projekt verschiedene Ansätze, darunter Adaptive Thresholding, Histogram Equalization, Gaussian Blurring, CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) und Unsharp Masking. Jede Methode wurde darauf getestet, wie gut sie die relevanten Merkmale der Würfelseiten hervorhebt. Die Tests zeigen, dass CLAHE die stabilsten und genauesten Ergebnisse liefert. Diese Methode verstärkt den lokalen Kontrast in den Bildern und macht selbst subtilere Merkmale klar erkennbar. Im Vergleich zu anderen Ansätzen zeigt CLAHE unabhängig von den Bildinhalten eine konstante Leistung und erhöht nicht nur die grobe Anzahl an erkannten Merkmalen, ermöglicht

aber die wiederholte Erkennung derselben Merkmale zwischen dem Test- und Datenbankbild wie es auch auf der Abbildung 2 gezeigt wird.

### Erkennung der Merkmale

Nach der Vorverarbeitung folgt die Erkennung der Merkmale, die für die Identifikation der Würfelseiten entscheidend ist. Hierfür wird der Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)-Algorithmus eingesetzt, da er unterschiedliche Merkmale erzeugt, die gegenüber Skalierung, Rotation und Beleuchtungsänderungen robust sind. Dies ist besonders wichtig, da die Würfel je nach ihrer Ausrichtung im System in unterschiedlichen Orientierungen erscheinen können.

Der SIFT-Algorithmus identifiziert charakteristische Punkte auf den Würfelseiten und erstellt für jeden Punkt einen Deskriptor, der die lokale Bildstruktur beschreibt. Diese Schlüsselpunkte dienen als Merkmale, die anschliessend mit den Referenzdaten in einer zuvor erstellten Datenbank abgeglichen werden. Durch diese Methode lassen sich Würfelseiten und deren Orientierungen zuverlässig bestimmen.

### Fazit und Ausblick

Das Projekt zeigt, wie durch den gezielten Einsatz moderner Bildverarbeitungs- und Automatisierungstechnologien ein bisher manueller Prozess erfolgreich automatisiert werden kann. Die entwickelte Lösung ermöglicht es, Würfel unabhängig von ihrer Orientierung zu erkennen und präzise zu platzieren, was nicht nur den Bedienkomfort erhöht, sondern auch die Einsatzmöglichkeiten im Robotik-Modul erweitert

### Projektteam

Prof. Dr. Thomas Besselmann, Advisor/Betreuer,  
thomas.besselmann@fhnw.ch  
Max Edelmann, max.edelmann@fhnw.ch  
Wolfgang Fischer, wolfgang.fischer@fhnw.ch  
Haris Mehinovic, Master-Studierender,  
haris.mehinovic@students.fhnw.ch

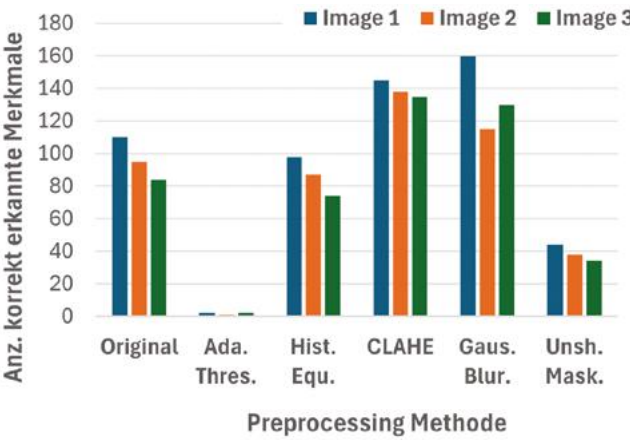


Abbildung 2: Vergleich zwischen den Preprocessing Methoden

# 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  
Raphael Markstaller, Leiter Wissens- und Technologietransfer [fitt.ch](mailto:fitt.ch)  
T +41 56 202 85 08, [raphael.markstaller@fhnw.ch](mailto:raphael.markstaller@fhnw.ch)

Studierendenprojekte im Studiengang Systemtechnik (Automation)  
Prof. Heinz Eichin, Studiengangleiter Systemtechnik, [heinz.eichin@fhnw.ch](mailto:heinz.eichin@fhnw.ch)

Studierendenprojekte im Studiengang Elektro- und Informationstechnik  
Prof. Dr. Sebastian Gaulocher, Studiengangleiter Elektro- und Informationstechnik, [sebastian.gaulocher@fhnw.ch](mailto:sebastian.gaulocher@fhnw.ch)

"Die Zusammenarbeit mit den Studierenden der FHNW bringt uns als Hersteller von Industrieprodukten einen enormen Mehrwert.

In den Projekten kann durch die Aussensicht der Studierenden Neues entstehen und Eingefahrenes aufgebrochen werden.

Zudem erhalten wir durch die young professionals Zugang zu neusten Technologien und Ansätze zu Automation und Vernetzung von Maschinen, welche wir sehr schätzen."

**Michel Aebischer, Betriebsleiter, Swibox AG Flamatt**

## Publikationsliste

Wärmepumpen, Photovoltaik und Elektromobilität Planungsgrundlagen für Wohnbauten (EFH und MFH)  
David Zogg:  
[https://smart-energy-engineering.ch/wp-content/uploads/2023/09/10636-2023.07.02\\_Planungsgrundlagen-PV-WP-Emob\\_DE-publiziert.pdf](https://smart-energy-engineering.ch/wp-content/uploads/2023/09/10636-2023.07.02_Planungsgrundlagen-PV-WP-Emob_DE-publiziert.pdf)

Reduce Power Dissipation With Dropping Capacitors: A Smart Use of Capacitive Reactance, ElektorMag, 11. November, 2024, [www.elektormagazine.com](http://www.elektormagazine.com)  
Christoph Biel

Reduzieren Sie die Verlustleistung mit Ableitkondensatoren: Eine intelligente Nutzung der kapazitiven Reaktanz, ElektorMag, 11. November, 2024, [www.elektormagazine.de](http://www.elektormagazine.de)  
Christoph Biel

Réduire la perte de puissance avec des condensateurs de chute: Une utilisation intelligente de la réactance capacitive, Elektor, 11 novembre 2024, [www.elektormagazine.fr](http://www.elektormagazine.fr)  
Christoph Biel

Vermögensverlust vermindern met seriecondensatoren: Een slim gebruik van capacitieve reactantie; ElektorMag, 11 november 2024, [www.elektormagazine.nl](http://www.elektormagazine.nl)  
Christoph Biel

## Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden

| Projektthema                                                                      | Auftraggeber           | Advisor            | Studierende       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| OpenCEM: Entwicklung eines smarten Energiemanagement-Systems                      | Verein SmartGridready  | David Zogg         | Christian Zeltner |
| MPC mit Zustandsschätzung für eine Bahnzugmaschine                                | Hoffmann Neopac AG     | Jürg P. Keller     | Lars Zihlmann     |
| Simulation des Drahtummantelungsprozesses in Python mittels dynamischer Objekte   | Zumbach AG             | Jürg P. Keller     | Thomas Kuhn       |
| Entwicklung eines Anstellwinkelsensors für Leichtbaudrohnen                       | TELLnet AG             | Jürg P. Keller     | Daniel Jakober    |
| Continuous defect detection in the can seaming process                            | Ferrum Packaging AG    | Roland Anderegg    | Marius Lerf       |
| Continuous defect detection in the can seaming process                            | Ferrum Packaging AG    | Pascal Schleuniger | David Schiltges   |
| Entwicklung eines Robotersystems für die Aufhängung von Räucherwürsten            | Neumeyer AG            | Roland Anderegg    | Nils Ammann       |
| OpenAPI-Schnittstelle zur Industrieroboteransteuerung und Messdatenbereitstellung | Paul Scherrer Institut | Thomas Besselmann  | Marvin Roy        |

# Bachelor-Thesen

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

| Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung                                                                       | Auftraggeber Partner Firma                               | Advisor                                                  | Studierende               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|
| Konzeptionierung Integration Schneidanlage für Platinierung                                                         | Connex AG                                                | Anderegg Roland                                          | Dysli Stefan              |
| Sichere industrielle Netzwerkarchitektur einer Intralogistikanlage                                                  | Bürge Fischer AG                                         | Böller Michael                                           | Braun Marc                |
| Innovativer Laborversuch für den Regelungstechnik-Unterricht                                                        | Fachhochschule Nordwest-schweiz, Pädagogische Hochschule | Gaulocher Sebastian<br>Zihlmann Albert                   | Portmann Gian-Luca        |
| HV-Modul für Röntgen- und Elektronendetektoren                                                                      | DECTRIS AG                                               | Schleuniger Pascal<br>Pischtschan Martin                 | Jetzer Michael            |
| Plunger position detection                                                                                          | Sensile Medical AG                                       | Keller Jürg<br>Lerf Marius                               | Grossniklaus Nicola       |
| Diagnose von Wärmeanlagen basierend auf digitalen Zwillingen                                                        | Auftraggeber vertraulich                                 | Zogg David                                               | Furter Tim                |
| Umbau der Pulveraufbereitungsanlage                                                                                 | Auftraggeber vertraulich                                 | Anderegg Roland                                          | Haberstich Rolf           |
| Weiterentwicklung und Einbindung eines dynamischen Gebäudemodells zur energetischen Online-Optimierung eines Areals | Auftraggeber vertraulich                                 | Zogg David                                               | Mutschlechner Natascha    |
| Smart Fusion Multisensor als Matter-Knoten                                                                          | Fr. Sauter AG                                            | Zihlmann Albert                                          | Odermatt Cyril            |
| Laden mit dynamischen Strompreisen an öffentlicher Ladeinfrastruktur                                                | Energiedienst Energiedienst Holding AG                   | Jakober Daniel<br>Keller Jürg                            | Roy Marvin                |
| Plasma Roboter Programmierung                                                                                       | FHNW Institut für Nanotechnische Kunststoffanwendungen   | Fischer Wolfgang<br>Edelmann Max                         | Fu Ko Sam                 |
| Entwicklung einer mechatronischen Deckel-Abstapelung                                                                | Ferrum AG                                                | Schleuniger Pascal<br>Böller Michael<br>Zimmermann David | Amport Alexander          |
| RFID Sensoren fürs Zugsicherungssystem des Eisenbahnbetrieblabors (EBL Schweiz)                                     | Heinrich Brändli<br>Mitglied Verwaltungsrat              | Pendharkar Ishan<br>Anderegg Roland<br>Wicki Stefan      | Peterhans Remo            |
| Vision-based tire attitude recognition                                                                              | Juracement AG                                            | Kuhn Thomas<br>Keller Jürg                               | Alfeld Joël               |
| Demonstrator 4.0 - Transportdrohne Lokalisierung und Greifer                                                        | FHNW Technik Marketing                                   | Fischer Wolfgang<br>Böller Michael<br>Krack Markus       | Tripoli Calishja          |
| Bildverarbeitung für die Produktionsautomatisierung                                                                 | Axetris                                                  | Keller Jürg                                              | Schmid Manuel             |
| MTP readiness                                                                                                       | ControlTech Engineering AG                               | Zihlmann Albert<br>Keller Jürg                           | Samsonov Boris            |
| Automatisierung einer 4-Walzen-Blechbiegemaschine                                                                   | Swibox AG                                                | Eichin Heinz<br>Jakober Daniel                           | Bracher Nathanael         |
| Entwicklung eines Labor-Rewinders für feine Fäden                                                                   | FHNW/IKT                                                 | Wenger Claude<br>Edelmann Max                            | Gysin Carole<br>Angela    |
| Elektronik-Konzept Umreifungsgeräte                                                                                 | Auftraggeber vertraulich                                 | Besselmann Thomas                                        | Rohr Severin              |
| PSI Robotergesteuertes Feinmessen                                                                                   | Paul Scherrer Institut                                   | Fischer Wolfgang<br>Edelmann Max<br>Wenger Claude        | Schmidlin Luca<br>Raymond |
| Auswertung und Reportmanagement für EDS-Sauerstoffgerät                                                             | FHNW/IA                                                  | Keller Jürg                                              | Bär Joel Loïc             |

|                                                                                                                  |                              |                                           |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|
| Schweissnahtprüfung mittels Kamera                                                                               | Auftraggeber vertraulich     | Besselmann Thomas<br>Anderegg Roland      | Stingelin Philipp         |
| Überwachung von Motoren und Kupplungen an Lüftungsanlagen                                                        | Acino Pharma AG              | Böller Michael                            | Zeltner Konrad<br>Emanuel |
| IoT-Adapter für E+H Transmitter                                                                                  | Endress und Hauser           | Schleuniger Pascal<br>Eichin Heinz        | Gutmann Adrian            |
| Aquaradio MultiCom                                                                                               | INTEGRA Metering AG          | Zihlmann Albert                           | Dall'O Nicolas            |
| Handheld Spectral Reflectometer                                                                                  | Nexus-Computing              | Schleuniger Pascal                        | Bachmann Daniel           |
| Machine-Learning-basierte visuelle Türerkennung für ein Antikollisionssystem bei elektrischen Rollstühlen        | Curtis Instruments AG        | Gaulocher Sebastian<br>Besselmann Thomas  | Lavoyer Alain             |
| Innovative Antriebsradregelung des FHNW Rovers für die European Rover Challenge                                  | FHNW/Rover Team              | Gaulocher Sebastian<br>Schleuniger Pascal | Hochuli Marc              |
| Kontinuierliche WiFi Funkübertragung von Sensordaten aus rotierender Maschine                                    | Ferrum AG                    | Schleuniger Pascal<br>Böller Michael      | Meier Florian             |
| Next Generation Stress Screening Test Infrastructure - Smart Burn-in für das D018E                               | duagon AG                    | Zihlmann Albert                           | Burger Daniel             |
| Optimierung der Heizungsregelung von Extrudern                                                                   | Brugg Kabel Manufacturing AG | Pischtschan Martin                        | Seiler Roman              |
| Optimierung Druckregelung und Atmungssimulation des Prüfgeräts für EDS-Sauerstoffgerät                           | FHNW/IA                      | Keller Jürg                               | Mörgeli Pascal            |
| Prognosebasiertes Energiemanagementsystem für eine Abwasserreinigungsanlage mit BHKW, Batterie und Solarfaltdach | Hunziker Betatech AG         | Zogg David                                | Pechlaner Jonas           |
| Dynamisches HMI für Industrie-Automationsanlagen                                                                 | Pharmabotix AG               | Böller Michael                            | Bürgin Jeremias           |

## Studiengang

|  |                                  |  |               |
|--|----------------------------------|--|---------------|
|  | Elektro- und Informationstechnik |  | Systemtechnik |
|--|----------------------------------|--|---------------|

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)

Leiter Weiterbildung MAS Automation Management  
Prof. Michael Böller  
T +41 56 202 77 92, [michael.boeller@fhnw.ch](mailto:michael.boeller@fhnw.ch)  
[www.fhnw.ch/mas-automation](http://www.fhnw.ch/mas-automation)

Sekretariat MAS Automation Management, Gabriella Gerber,  
T+41 56 202 72 18, [weiterbildung.technik@fhnw.ch](mailto:weiterbildung.technik@fhnw.ch)

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



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