

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

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

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

Leiter Weiterbildung MAS Automation Management  
Prof. Michael Böller  
T +41 56 202 77 92, michael.boeller@fhnw.ch  
www.fhnw.ch/mas-automation

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

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



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

## Tätigkeitsbericht 2023

### Institut für Automation FHNW

Forschungskompetenzen in moderner Regelungstechnik, industrieller Automation und Gebäudeautomation sowie Mechatronik

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

# Inhalt

---

<b>Editorial</b>	3
------------------	---

---

<b>Forschungskompetenz Moderne Regelungstechnik</b>	4
<b>Model-based stabilizing tracking real-time control interface for Franka Emika Panda robot</b> Mahdi Nobar	4

---

<b>Forschungskompetenz Industrielle Automation und Gebäudeautomation</b>	8
<b>Entwicklung eines 1D-Simulationsmodells zur Optimierung von Hochspannungs-Leistungsschaltern</b> Martin Pischtschan	8
<b>Kundenspezifisches Bedrucken von 3D Objekten</b> Claude Wenger	12
<b>Bildbasierte Saatreihenerkennung</b> Thomas Kuhn	14
<b>Vorstudie zu einer neuen Heizmethode für Elektrokremationsöfen in Etagenbauform</b> Daniel Jakober	16
<b>SmartGridready Testlabor</b> David Zogg	18

---

<b>Forschungskompetenz Mechatronik</b>	22
<b>Datenpipeline für kontinuierliche Messdatenauswertung mit BLE</b> Michael Böller	22
<b>Personenerkennung vor «Outdoor-Grossbildschirm»</b> Hans Gysin	24
<b>Optimization of processing accuracy of industrial robots in machining manufacturing</b> Gianin Flucher	26

---

<b>Bachelor-Thesen</b>	28
------------------------	----

---

<b>Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden</b>	29
--	----

---

<b>Publikationsliste und Preise</b>	21
-------------------------------------	----

---



## Impressum

Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Hochschule für Technik, Institut für Automation

Projektleitung und Redaktion: Rolf Isler, Jadwiga Gabrys

Layout: Ben Newton, digitworks.ch

Erscheinungsweise: jährlich

Auflage: 200 Exemplare



## Editorial

### Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Wir freuen uns, Ihnen im vorliegenden Bericht den Stand einer Auswahl von Projekten unseres Instituts vorzustellen. Neben den hier publizierten Berichten gibt es weitere Forschungszusammenarbeiten, die wir aufgrund von Geheimhaltungsvereinbarungen nicht publizieren.

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

*R. Anderegg*

Roland Anderegg  
Institutsleiter

# Model-based stabilizing tracking real-time control interface for Franka Emika Panda robot

Mahdi Nobar

In the Institute of Automation, we demonstrated a real-time inverse kinematics-based analytical tracking controller for our 7-degrees-of-freedom Franka Emika Panda (FEP) robot arm. The goal of an analytical model-based controller is to use the knowledge of first principal physics to control a multi-degree freedom robot arm. We realized a real-time external control interface for FEP and transformed the stabilizing weighted tracking feedback controller from a realistic simulation to the FEP hardware.

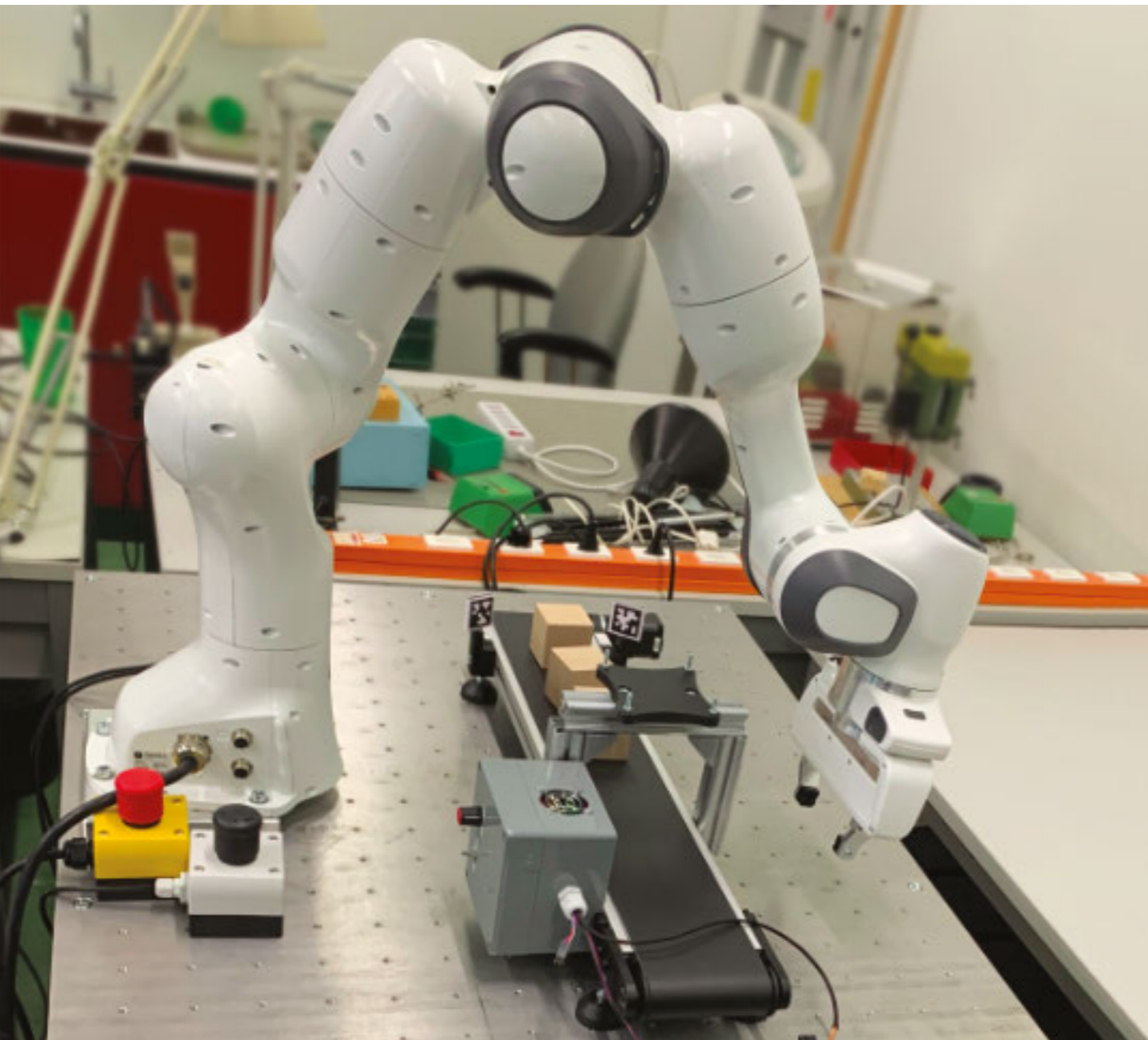


Figure 1: FEP Robot Cell: The end-effector of the robot tracks a reference trajectory along the conveyor belt

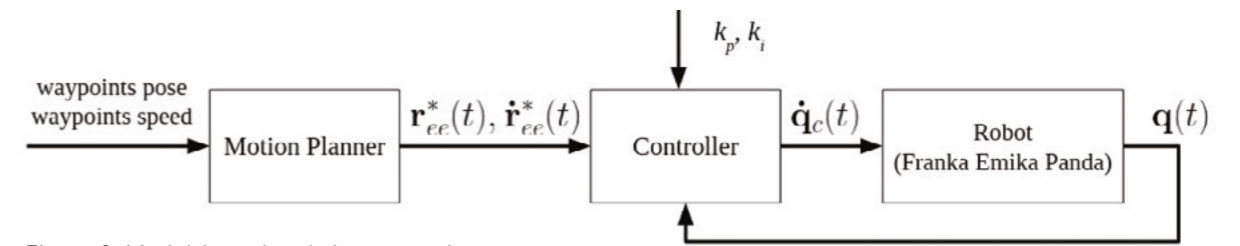


Figure 2: Model-based real-time control system

## Method

The inverse differential kinematics control method uses the kinematics knowledge about the robot configuration to directly map the robot end effector position and orientation to the joint angles based on a Jacobian matrix. However, the inverse differential kinematics controller cannot track a pre-defined task space trajectory and drifts away because of uncertainty in the robot model represented by the Jacobian matrix. To deal with this problem, weighted tracking error feedback is implemented, as shown in Fig 2, which can stabilize the inverse kinematics robot controller.

The reference trajectory requires smoothly passing through specific waypoints in the workspace with a certain speed and limited jerk. We use an optimization-based motion planner that fits piece-wise clothoid curves between two consecutive waypoints. Then, the tangent direction respects the target velocity in each waypoint. Then, a trapezoidal acceleration profile for any segment between two waypoints is defined, consisting of the constant-magnitude jerk and acceleration subsegments. Eventually, to retrieve the target reference speed trajectory  $\dot{\mathbf{r}}_{ee}^*(t)$  and position trajectory  $\mathbf{r}_{ee}^*(t)$  a cubic Hermite interpolation is used to time stamp each state on the path.

We use the pseudo-inverse of the end-effector Jacobian matrix to define the feedback trajectory controller given the planned end-effector position and velocity:

$$\dot{\mathbf{q}}_c = \mathbf{J}_{ee}^+(\mathbf{q}(t))[\dot{\mathbf{r}}_{ee}^*(t) + k_p \Delta \mathbf{r}_{ee}(t) + k_i \int_{\tau=0}^{\tau=t} \Delta \mathbf{r}_{ee}(\tau) d\tau]$$

which brings the feedback error  $\Delta \mathbf{r}_{ee}(t) = \mathbf{r}_{ee}^*(t) - \mathbf{r}_{ee}(\mathbf{q}(t))$  to zero.

When controlling the robot, singular configurations exist  $\mathbf{q}_s$  where the rank of the Jacobian matrix  $\text{rank}(\mathbf{J}_{ee}(\mathbf{q}_s))$  is larger than the number of controllable end effector degrees of freedom. In such singularities, the commanded joint velocity set point could jump suddenly and activate the safety switches of the robot. To avoid such cases, we use a damped version of the Moore-Penrose pseudo-inverse  $\mathbf{J}_{ee}^+$  where we minimize the error  $\|\dot{\mathbf{r}}^* - \mathbf{J}_{ee} \cdot \dot{\mathbf{q}}\|^2 + \lambda^2 \cdot \|\dot{\mathbf{q}}\|^2$  in preventing large  $\dot{\mathbf{q}}$  happening near the singular configurations  $\mathbf{q}_s$  with a damping factor of  $\lambda$ .

## Realistic Simulation

Pybullet is a realistic simulator that renders the rigid body dynamics and collision dynamics. We used the pre-identified dynamics model of the robot and implemented our tracking controller. The end effector starts to move from

zero speed at the red ball shown in Fig 3, smoothly passing through the green waypoints along a conveyor belt with a constant speed of 5 cm/s]. We have the sampling and control frequency of 250 Hz, which means there is a 4 ms period between each discrete control command.

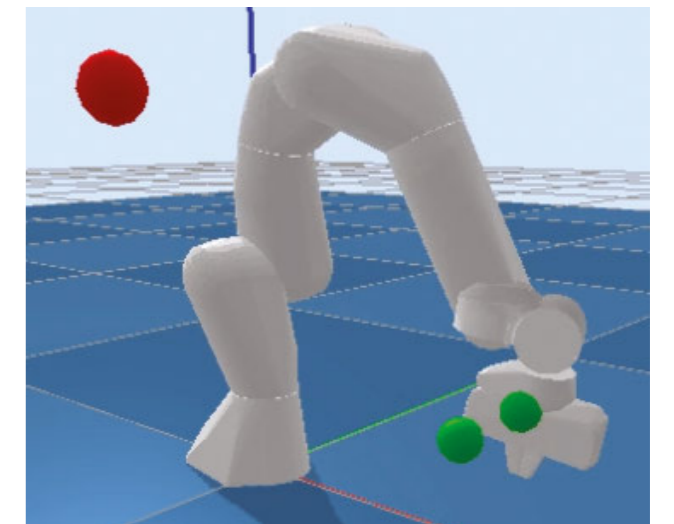


Figure 3: FEP Tracking Reference Trajectory Smoothly Passing Through Waypoints With Certain Speed

In Figure 4, the robot end effector smoothly tracks the reference trajectory. The mean squared error throughout the trajectory is 1.38 mm, and the final position 2-norm error is 0.12 mm.

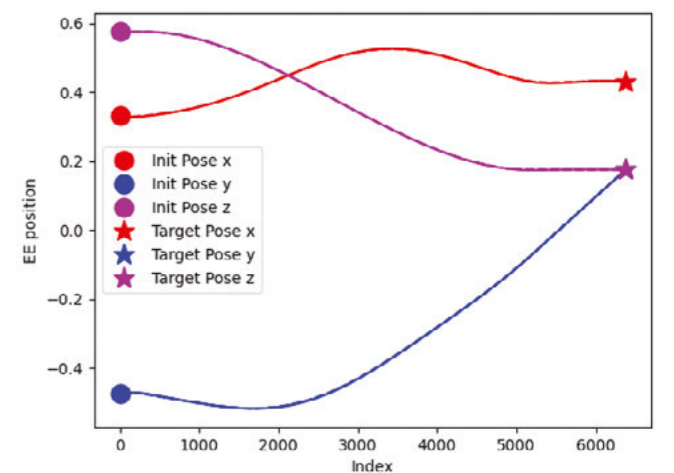
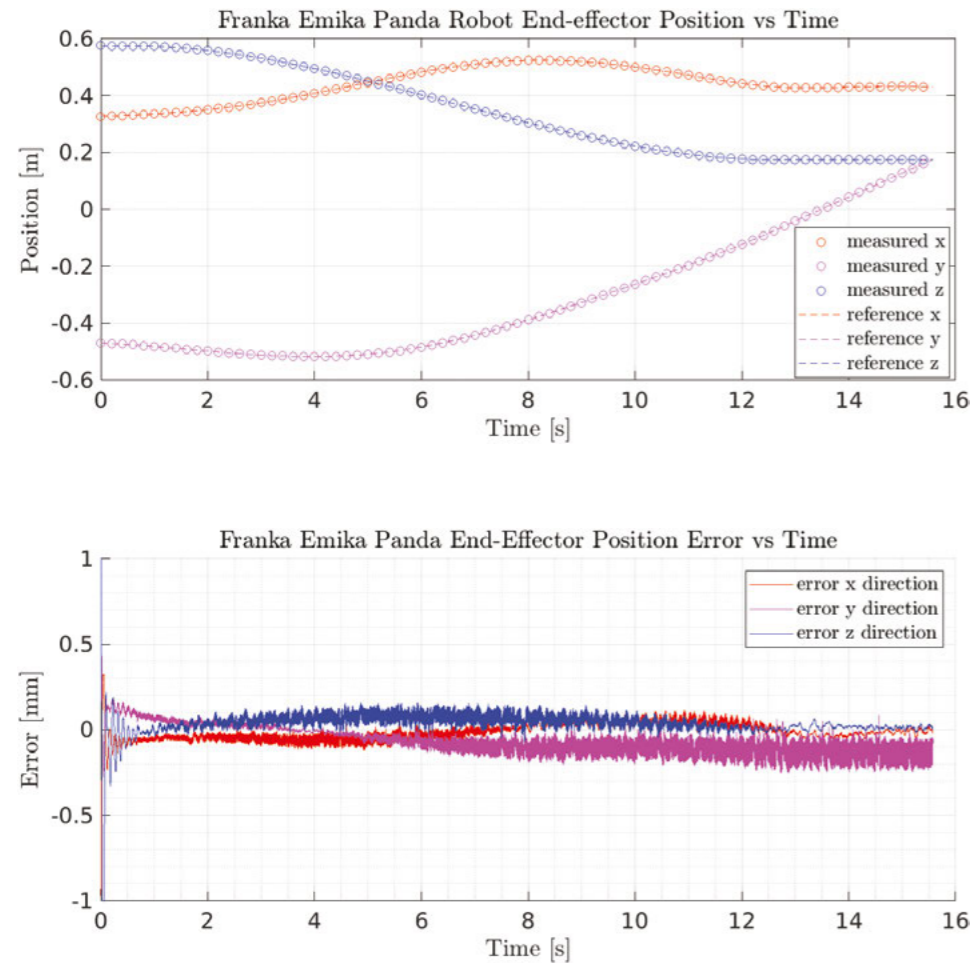


Figure 4: FEP model in Pybullet Tracking Reference Trajectory Smoothly Passing Through Waypoints With Certain Speed. The reference trajectory depicted with dashed lines overlap with the measured end-effector trajectory

### Hardware Experiments

We then demonstrated our weighted inverse Jacobian tracking feedback controller on real FEP hardware through “libfranka” and “libfranka\_ros.” “libfranka” is a C++ library that interfaces with the low-level control of the FEP robot. At the same time “libfranka\_ros” integrates the “libfranka” with the robot operating system (ROS), allowing us to communicate with the controller and measurement hardware through ROS in 1 kHz frequency. We implemented our approach in 4 ms sampling time. The results in Fig 5 demonstrate that we could retrieve the tracking root mean square error of 0.16 mm.



(a) Difference between the end-effector position and reference trajectory at each time step

(b) End-effector measured cartesian space position (we only show samples every 0.2 s) tracks the reference trajectory

Figure 5: FEP Real-time Tracking Reference Trajectory

### Conclusions

In this work, we build up a robot external control interface where we can set the reference joint velocity for the FEP to follow. We can control and receive the robot joint angle measurements in real-time up to 1 ms sampling time. We demonstrated that we can successfully transform our designed controller in simulation into the actual hardware.

### Perspectives

This work is a preliminary part of building a robot cell with FEP, a conveyor belt, and a moving object. In the future, we will use the cell to demonstrate the data-driven controller algorithms we developed at the institute.

### References

[1] Sciacivco, Lorenzo, and Bruno Siciliano. Modelling and control of robot manipulators. Springer Science & Business Media, 2001.

[2] Franka Emika GmbH., Franka Control Interface Documentation. <https://frankaemika.github.io/docs/index.html> (accessed Dec. 29, 2023).

[3] A. Carron, E. Arcari, M. Wermelinger, L. Hewing, M. Hutter and M. N. Zeilinger, Data-Driven Model Predictive Control for Trajectory Tracking with a Robotic Arm, in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 4, no. 4, pp. 3758-3765, Oct. 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2929987.

### Team

Mahdi Nobar, Doctoral student, mahdi.nobar@fhnw.ch  
 Prof. Dr. Jürg P. Keller, Programme Manager MAS Automation Management, juerg.keller1@fhnw.ch

# Studierendenprojekte – Ihre Aufgabenstellung wird durch unsere Studierenden gelöst

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



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

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

Studierendenprojekte im Studiengang Systemtechnik (Automation)  
 Prof. Heinz Eichin, Studiengangleiter Systemtechnik,  
 heinz.eichin@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**

# Entwicklung eines 1D-Simulationsmodells zur Optimierung von Hochspannungs-Leistungsschaltern

Martin Pischtschan

Die Pfiffner Gruppe arbeitet an der Entwicklung eines neuartigen, luftisolierten Hochspannungs-Leistungsschalters (AIS, Air-Insulated Switchgear) für den Einsatz in Schaltanlagen in Umspannwerken, der ein SF6- und fluorgasfreies Isolationsmedium verwendet. Um einzelne Parameter (z.B. geometrische Abmessungen) eines solchen, komplexen Systems optimieren zu können, soll ein 1D-Simulationsmodell entwickelt werden, welches dazu verwendet wird, eine solche Optimierung, mittels multivariater Optimierungsalgorithmen effizient umsetzen zu können.

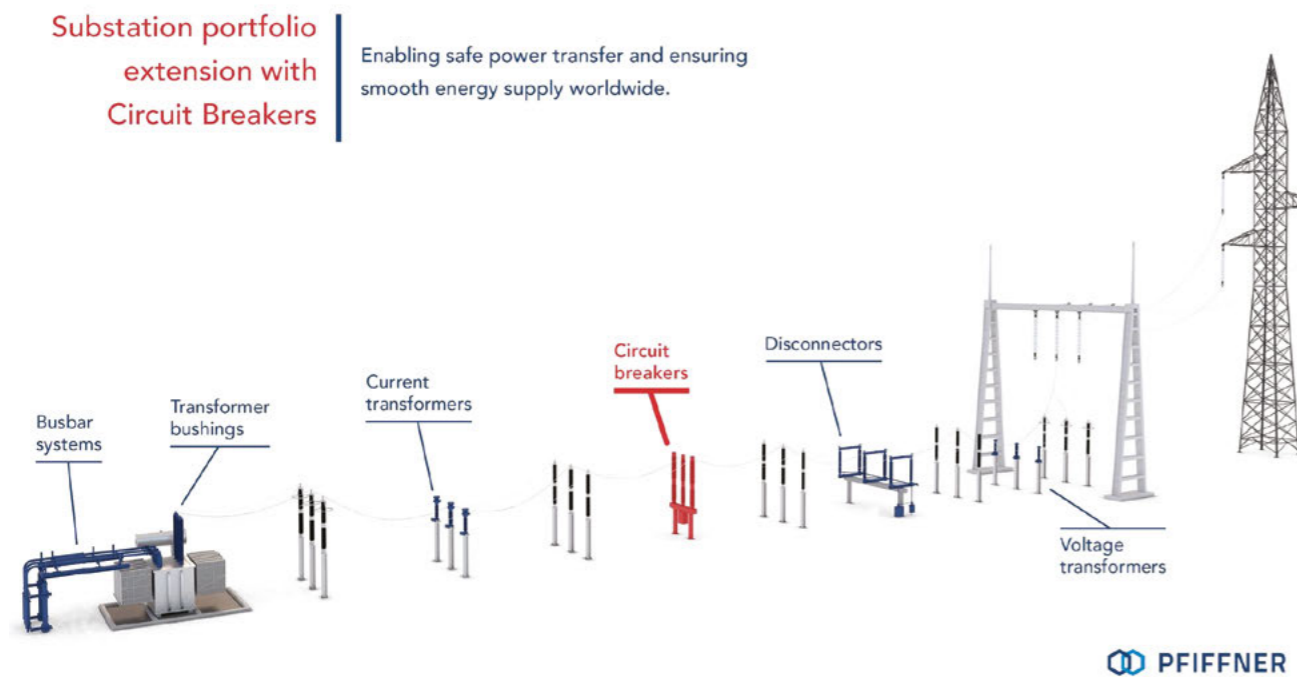


Abbildung 1: Produktportfolio der Pfiffner Group (Quelle: Fr. Pfiffner)

## Ausgangslage

Leistungsschalter sind eine der wichtigsten Komponenten in einer Schaltanlage, bei denen insbesondere die Zuverlässigkeit eine wichtige Rolle spielt, da das Produkt, auch nach langjähriger Inaktivität, unter allen Bedingungen funktionieren muss. Momentan kommt in Leistungsschaltern üblicherweise Schwefelhexafluorid (SF6) als Isolationsgas zum Einsatz, da es äusserst effektiv bei der Stromunterbrechung ist und einen guten elektrischen Isolator darstellt.

Gleichzeitig stellt SF6 eines der schädlichsten Treibhausgase der Welt dar, weshalb Zulieferer für Stromnetzbetreiber nach Lösungen suchen, um dessen Verwendung zu reduzieren. Pfiffner verwendet dabei ein umweltfreundliches Gas, das auf den Einsatz von SF6- und Fluorid-Gasen vollständig verzichtet.

Da es sich bei einem Leistungsschalter um ein sehr komplexes, multiphysisches System handelt, welches die Möglichkeit bietet, viele Herstellungsparameter zu verändern, ohne die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit genau zu kennen, kommen Software Tools zum Einsatz, die multivariate Optimierungsalgorithmen verwenden, um das grundsätzliche Design optimal gestalten zu können. Üblicherweise kommt dabei 3D-CFD Simulationssoftware zum Einsatz, welche jedoch den Nachteil hat, dass sie sehr zeitaufwändig ist. Eindimensionale Simulationsmodelle hingegen reduzieren den zeitlichen Aufwand deutlich, wodurch eine darauf basierende Optimierung viel schneller umsetzbar ist.

Ein solches 1D-Simulationsmodell wurde, unter Verwendung der Programmiersprache Python, entwickelt.

## Zielsetzung

Im Rahmen eines Innosuisse-Projektes kollaborieren die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und die Ostschweizer Fachhochschule (OST) mit der Firma Pfiffner. Der OST obliegt dabei die Entwicklung eines 3D-CFD Simulationsmodells. Die FHNW hingegen ist für die Entwicklung des 1D-Simulationsmodells und die zugehörige Optimierung zuständig. Um sowohl die Ergebnisse der 1D- als auch der 3D Simulationen verifizieren zu können, führt die Firma Pfiffner reale Messungen an einem Prototyp durch.

Während des Projektes soll ein 1D-Simulationsmodell entwickelt werden, welches die massgeblichen Komponenten und deren Zusammenspiel hinreichend genau abbildet. Dieses Modell soll anschliessend dazu verwendet werden, die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems (z.B. Fähigkeit der Lichtbogenlöschung), unter Berücksichtigung verschiedener Systemparameter zu optimieren, wodurch die Firma Pfiffner in die Lage versetzt wird, ihr Systemdesign entsprechend anzupassen.

## 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
  - Er zeigt sich zuverlässig in der Bedienung.

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

## Aufbau des Simulationsmodells

Um ein Simulationsmodell zu entwickeln, welches das Verhalten des Gesamtsystems hinreichend genau abbildet, kann das System in die folgenden Teilsysteme unterteilt werden:

- Antrieb
- Gasströmung
- Strömungsgeometrie
- Lichtbogen
- Externer Stromkreis

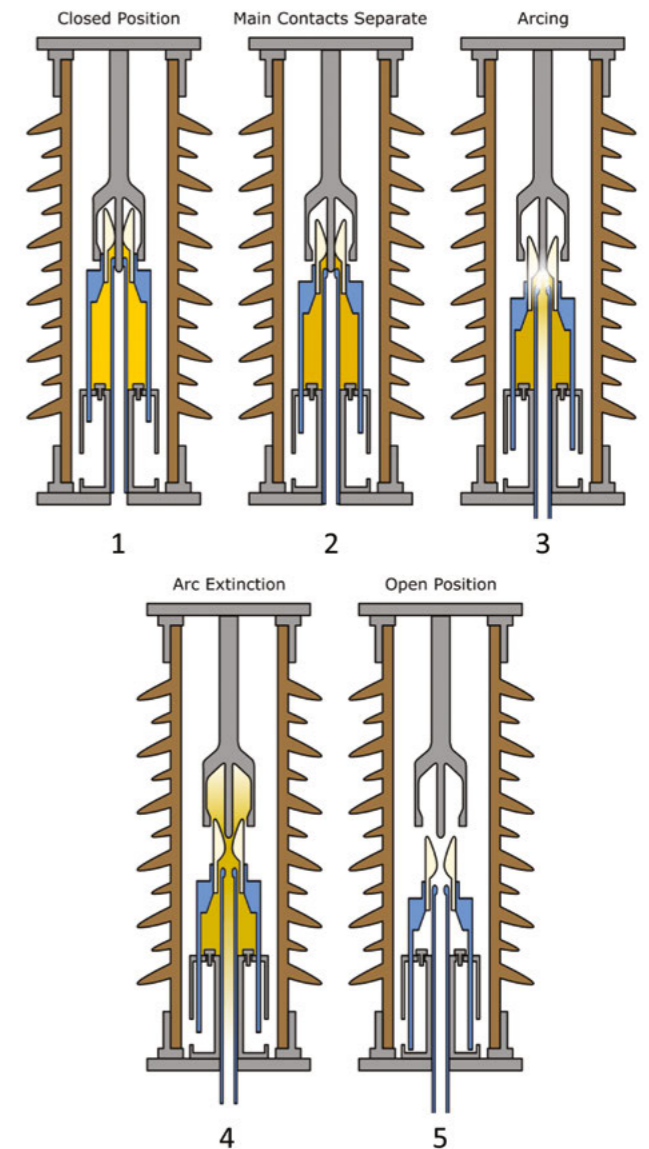


Abbildung 2: Funktionsweise eines Leistungsschalters (Quelle: savree.com)

Das Antriebsmodell soll den Geschwindigkeits- sowie den Positionsverlauf der Kontakte während des Öffnens abbilden. Die Modellierung der Gasströmung in Kombination mit der Strömungsgeometrie (Düsengeometrie) bildet die Grundlage für das fluiddynamische Modell. Dazu werden numerische Methoden wie zum Beispiel die Finite-Volumen-Methode (engl. Finite Volume Method) verwendet. Für das Lichtbogenmodell ist vor allem die dabei entstehende Leistung entscheidend, welche mit den anderen Systemen über Konvektion und Strahlung interagiert. Der externe Stromkreis simuliert das Verhalten des Stromnetzes, in welchem sich der Schalter befindet.

Zusätzlich zu den physikalischen Subsystemen werden noch Materialdaten für das neue umweltfreundliche Gas benötigt. Während des Löschvorganges können Temperaturen von bis zu 30'000K und Druck bis zu 50 Bar entstehen. Dabei müssen die Materialparameter für diese extremen Konditionen geeignet sein.

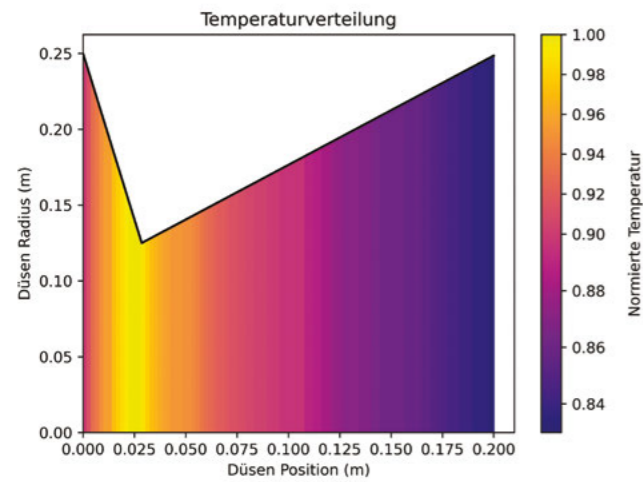


Abbildung 3: Lichtbogen Temperaturverteilung

### Simulationsergebnisse

Eine zentrale Rolle des Löschvorganges spielt die Kühlung des Lichtbogens, um ihm zusätzlich Energie zu entziehen. Um diesen Vorgang zu untersuchen, wird ein vereinfachtes 1D-Modell verwendet. Das Modell geht von einem Lichtbogen im stationären Zustand aus, mit zylindrischer Symmetrie und nur zwei radialen Zonen. In der Mitte befindet sich heisses Lichtbogenplasma mit gleichmässigen Eigenschaften in radialer Richtung. Der Lichtbogen, welcher ebenfalls gleichmässige Eigenschaften in radialer Richtung besitzt, ist von kaltem Gas umgeben. Mit diesen Annahmen ist es möglich, die Lichtbogentemperatur und den Radius zu berechnen. In Abbildung 3 ist die Temperaturverteilung für eine normale Lavaldüse dargestellt. Vergleicht man diese Daten mit den Messdaten aus [1] (siehe Abbildung 4), so zeigt das Simulationsmodell eine gute Übereinstimmung.

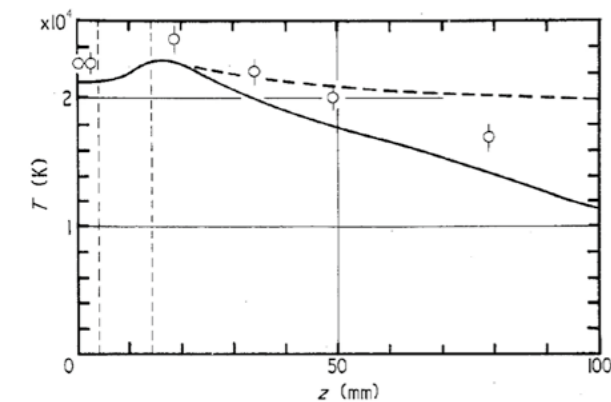


Abbildung 4: Gemessene Lichtbogen Temperatur entlang der z-Achse [1]

### Fazit

Die ersten Simulationsergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mit einfachen Modellen die Realität hinreichend genau abzubilden. Im nächsten Schritt gilt es die Modelle miteinander zu verknüpfen und mit den umfangreichen 3D Simulationen zu vergleichen. Wird eine zufriedenstellende Genauigkeit erreicht, gilt es mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen das Design basierend auf dem 1D Modell zu verbessern. Die gefundenen Optimierungsvorschläge sollen anschliessend im 3D Modell genauer untersucht werden.

### Quellen

[1] W Hermann, U Kogelschatz, L Niemeyer, K Ragaller, and E Schade, "Experimental and theoretical study of a stationary high-current arc in a supersonic nozzle flow," J. Phys. Appl. Phys., vol. 7, no. 12, pp. 1703–1722, Aug. 1974, doi: 10.1088/0022-3727/7/12/317.

### Projektteam

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

# Ihre Weiterbildung in Automatisierungstechnik

**MAS Automation Management** – die Weiterbildung für angehende Leitende von Automationsprojekten und für Ingenieurinnen und Ingenieuren, 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)

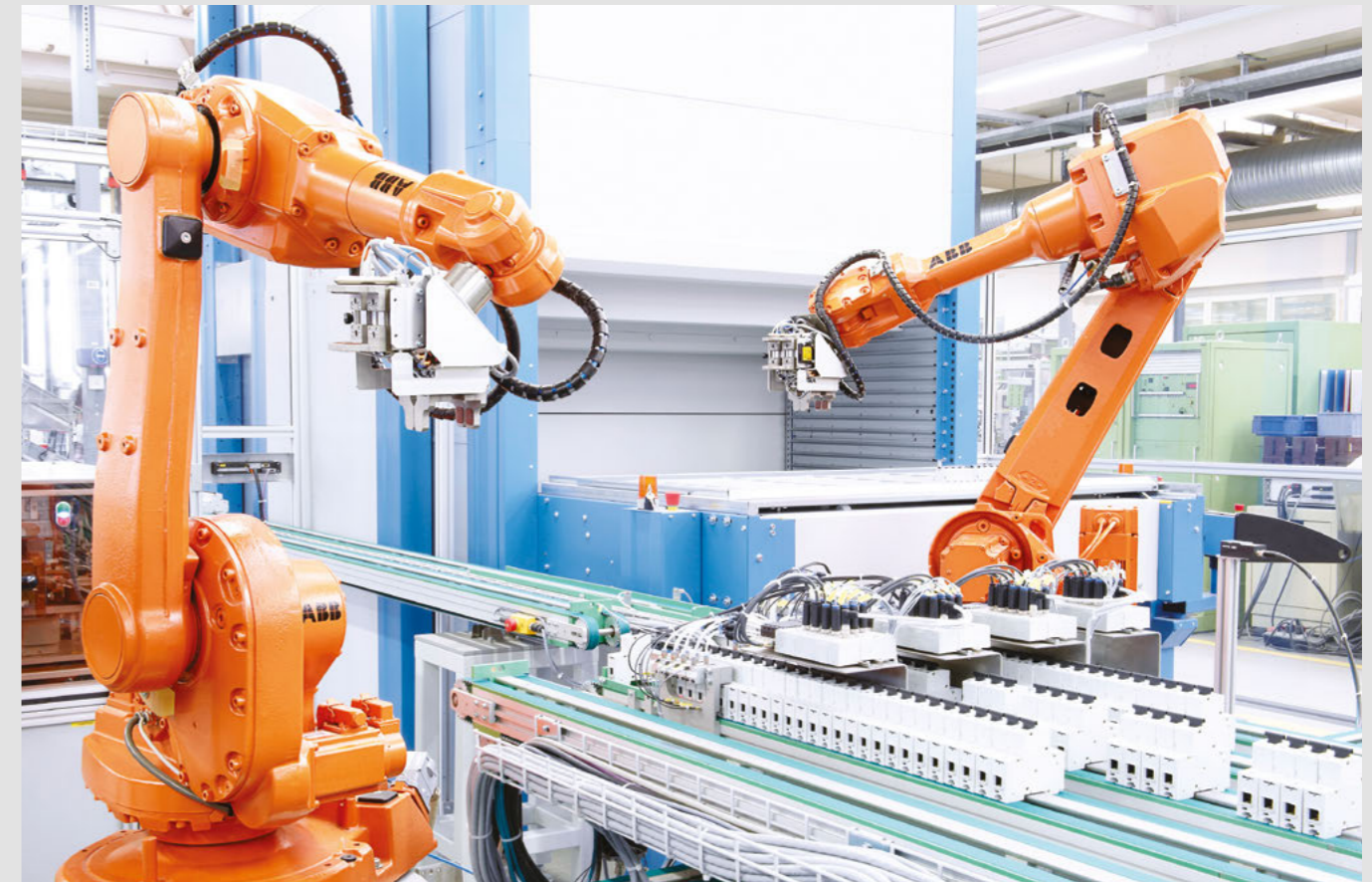
### Kontakt

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, 13. Mai 2024, 18.15 Uhr, Windisch  
Mittwoch, 26. Juni 2024, 18.15 Uhr, online  
Montag, 28. Oktober 2024, 18.15 Uhr, online  
Mittwoch, 29. Januar 2025, 18.15 Uhr, hybrid

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



# Kundenspezifisches Bedrucken von 3D-Objekten

Claude Wenger

Die Machbarkeitsstudie des Projekts «Custom 3D color print solutions» bietet eine Grundlage zur Entwicklung eines Prototyps, welcher vollautomatisch kundenspezifische Grafiken auf 3D-Oberflächen aufträgt.

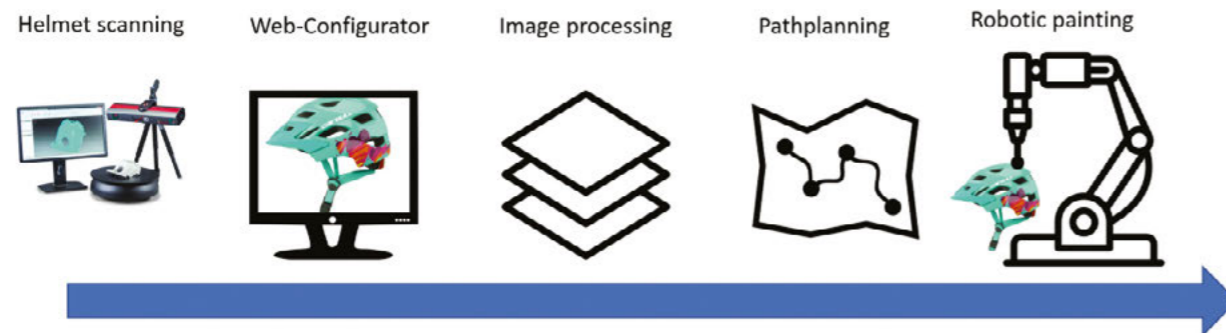


Abbildung 1: Gliederung des Prozesses: Von der Form eines beliebigen Helms zum fertigen Produkt

## Einleitung

House of Helmet ist eine Galerie für Kunsthelme, die individuelle Farbdesigns auf der Oberfläche verschiedener Arten von homologierten (für den Gebrauch in verschiedenen Sportarten zertifizierten) Helmen anbietet: Reit-, Fahrrad-, Motorrad-, Skihelme, etc. Das Unternehmen befindet sich derzeit in der Start-up-Phase und versucht, das Produkt durch die Automatisierung der meisten Produktionsschritte zugänglicher zu machen. Derzeit wird der gesamte Lackierprozess von einem Künstler manuell durchgeführt.

Das Ziel ist es, einen interaktiven 3D-Webkonfigurator zu entwickeln, bei dem die Kunden ein Design auf einem Design-Marktplatz auswählen oder eigene 2D-Bilder hochladen und auf verschiedenen Helmmodellen platzieren können, bevor sie die gewünschte Kombination bestellen. Das 3D-Modell mit dem 2D-Bild wird dann an ein Robotersystem gesendet, das den Helm wie bestellt lackiert.

Derzeit ist kein Anbieter von individuell lackierten Helmen bekannt, der einen halb- oder vollautomatischen Prozess verwendet. Die Entwicklung eines solchen Systems würde House of Helmet einen entscheidenden Vorteil hinsichtlich Produktionsmenge, Qualität und Kosten verschaffen.

Das Institut für Automation der FHNW wurde mit der Durchführung einer Machbarkeitsstudie beauftragt, um mögliche Lösungen für alle notwendigen Schritte und Schwierigkeiten, die bei einer Vollautomatisierung des Prozesses auftreten würden, zu finden und zu definieren. Ebenfalls sollte eine Kostenschätzung erstellt werden durch Einholen von Offerten bei verschiedenen Technologieanbietern.

## Ziele

Im Rahmen dieses Projekts sollten die folgenden Themen untersucht werden:

- Erstellung eines 3D-Webkonfigurators, in dem Kunden ihr eigenes Helmdesign erstellen und das Ergebnis in 3D anzeigen können.
- Anwendung von 2D-Bildern auf 3D-Objekte.
- Automatische Färbung des Helms (individuelle Formen und Grössen) mit dem ausgewählten Design.
- Lösung für Geolokalisierung und Helmidentifikation (Sicherheit für Fahrer und Diebstahlschutz).

Natürlich haben die Recherchen zu diesen Themen neue Probleme und neue Subthemen hervorgebracht. Diese werden hier nicht besonders erwähnt, wurden jedoch dennoch untersucht. Die obige Liste dient als Beschreibung der ursprünglichen Ziele zu Beginn des Projekts. Das Thema Geolokalisierung und Identifikation wurde als weniger dringlich eingestuft, da es nicht direkt mit dem Lackieren des Helms selbst zusammenhängt. Letztendlich wurde zu diesem Thema keine Untersuchung durchgeführt, da andere Bereiche mehr Aufmerksamkeit erforderten und bereits bekannt war, dass mehrere handelsübliche Lösungen für dieses Problem existieren.

## Innovationsergebnisse

Es wurden etablierte Lösungen für die meisten Probleme gefunden. Webkonfiguratoren sind weit verbreitet, und die Entwicklung sowie die Softwarebereitstellung durch einen Frontend-Entwickler oder Unternehmen mit Erfahrung in 3D-Animationen sollten problemlos möglich sein.

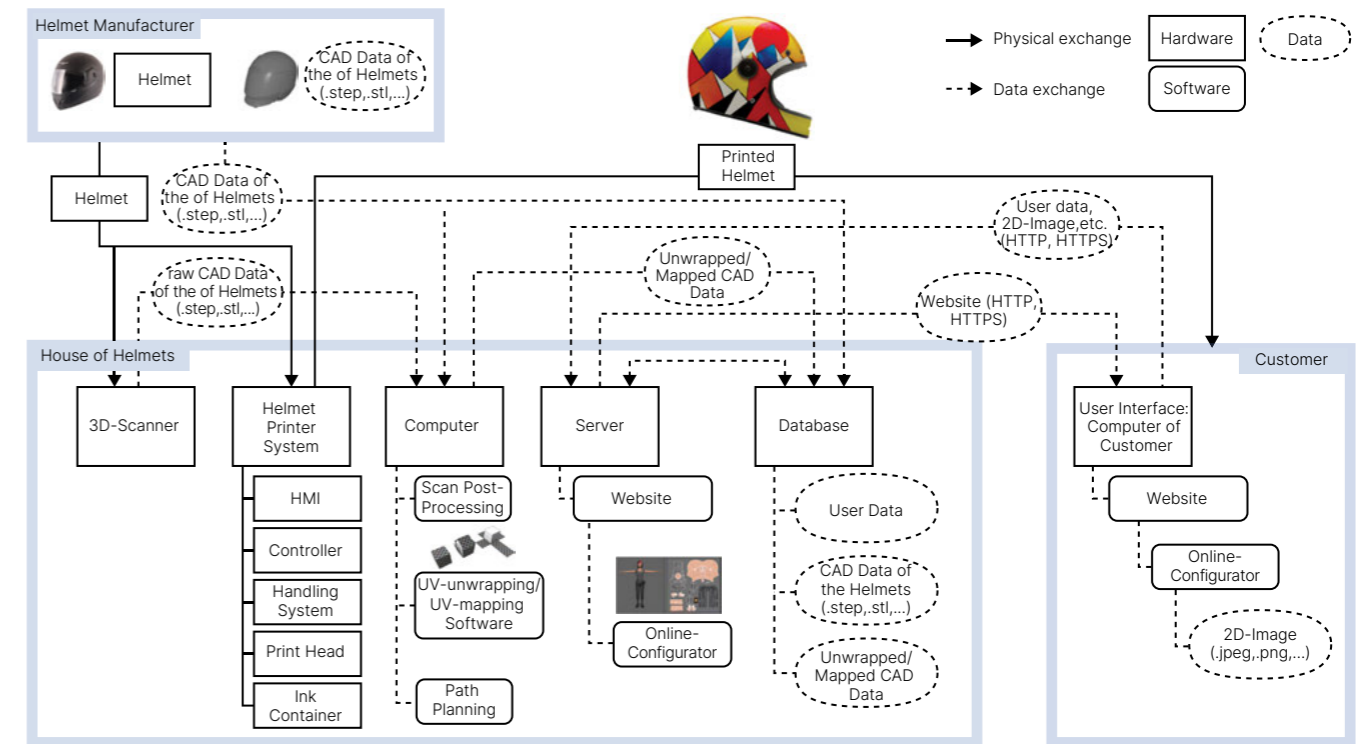


Abbildung 2: Layout des vorgeschlagenen Systems mit Teilsystemen, Material- und Datenflüssen

Ein 3D-Scanner wird benötigt, oder ein Scan-Service, da viele Helmhersteller keine 3D-Modelle für ihre Produkte bereitstellen.

Eine grosse Herausforderung besteht darin, 2D-Bilder ohne Verzerrungen auf die Helmmodelle zu bringen.

Die Hardware, einschliesslich eines robotergesteuerten Lackiersystems, kann von erfahrenen Automatisierungsanbietern entwickelt werden, erfordert jedoch Tests zur Pfadgenauigkeit des Roboters. Bereits kleine Bahnabweichungen des Roboters würden sich bemerkbar machen durch Überlappen der Farbschichten.

Ein weiteres Problem besteht in der Farbauftragung auf verschiedene Materialien. Im Rahmen dieser Studie konnten keine praktischen Tests zum Farbauftragen gemacht werden. Dieses Thema sollte weiter untersucht werden.

## Vorgehen

Zuerst wurden die grössten Teilsysteme identifiziert und im Sinne eines möglichen Prozessablaufs in einen Zusammenhang gebracht (Abbildung 1). Von dort aus wurden die einzelnen Prozesse analysiert und in einem detaillierteren Überblick zusammengefasst (Abbildung 2). Die Prozesse oder Teilsysteme wurden in umgekehrter Reihenfolge des Material- und Datenflusses analysiert.

Diese Wahl wurde getroffen, weil die Pfadplanungsbeschränkungen davon abhängen, wie die Farbe aufgetragen werden kann, die Ausgabe aus der Bildverarbeitung von der Pfadplanung angewendet werden muss, und so weiter. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass so wenig Zeit wie möglich mit der Erforschung von Methoden und Technolo-

gien verschwendet wurde, die vom nächsten Teilsystem im Produktionsprozess nicht verwendet werden können. Die einzelnen Teilsysteme wurden in ihren jeweiligen Kapiteln dokumentiert einschliesslich einer Beschreibung wahrgenommener Schwierigkeiten und möglicher Lösungen dafür.

## Ausblick

Als nächster Schritt wurde vorgeschlagen, einen ersten Prototyp zu planen und umzusetzen, auf dem aufgebaut und verbessert werden kann. Besondere Aufmerksamkeit sollte den Bereichen Farbauftrag auf verschiedenen Oberflächenmaterialien, Pfadgenauigkeit des Roboters und Bildverzerrungen beim Mapping auf 3D-Oberflächen gewidmet werden. Aufgrund der Ergebnisse dieser Vorstudie lässt sich feststellen, dass ein solches System realisiert werden kann und die Vision der automatischen Helmfärbung gemäss 2D-Bildern umsetzbar ist.

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

## Industriepartner

House of Helmet, Najette Dorni, <https://houseofhelmet.com>

## Projektteam

Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation FHNW, [roland.anderegg@fhnw.ch](mailto:roland.anderegg@fhnw.ch)  
 Claude Wenger, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent BME, [claudewenger@fhnw.ch](mailto:claudewenger@fhnw.ch)  
 Jan Pyrochta, Wissenschaftlicher Assistent und Masterstudent MSE, [jan.pyrochta@fhnw.ch](mailto:jan.pyrochta@fhnw.ch)

# Bildbasierte Saatreihenerkennung

## Thomas Kuhn

Die industrielle Landwirtschaft sucht nach Methoden zur mechanischen Unkrautregulation. Für ein Innosuisseprojekt (dessen Kunde nicht genannt werden möchte) erhielt das IA die Aufgabe, ein System zu implementieren, welches die Saatreihen in einem Feld mit Randen, Zuckerrüben, Mais und Sonnenblumen zuverlässig detektieren kann. Der vorliegende Artikel soll die Methodik der Bildauswertung zeigen.



### Prinzipschema

Das Hackgerät, welches an den Traktor gehängt wird, sieht prinzipiell folgendermassen aus:

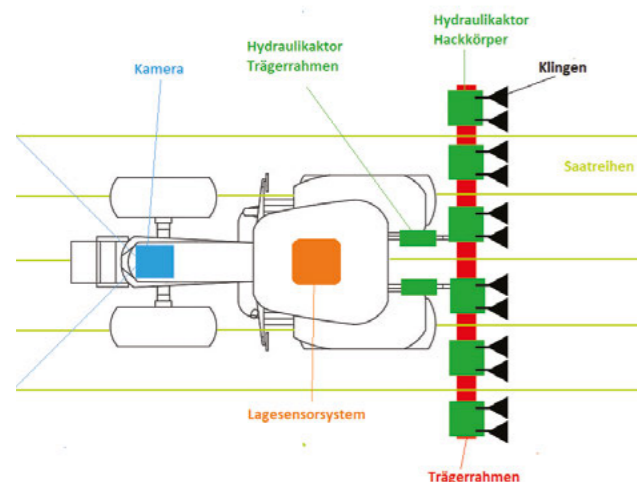


Abbildung 1: Prinzipskizze Hackgerät

Der Traktor zieht einen Trägerrahmen über das Feld. An diesem Trägerrahmen sind Hackkörper quer zur Fahrtrichtung verschiebbar montiert. An jedem Hackkörper sind Klängen befestigt, welche knapp unterhalb des Bodens durch den Acker gezogen werden. Da wo die Klängen waren, wurden alle wachsenden Pflanzen zumindest überirdisch zerstört. Deshalb braucht es ein Sensorsystem, welches die Nutzpflanzen, die in einer Reihe wachsen, zuverlässig detektieren kann.

### Sensorik

Es gibt theoretisch mehrere Sensorsysteme, welche eine Saatreihe detektieren können. Die mechanischen Ansätze kommen entweder nicht mit den Veränderungen der Nutzpflanze während ihrer Wachstumszeit zurecht oder die Nutzpflanzen nicht mit dem Sensor. Weil vom Kunden der Wunsch besteht, das Hackgerät während der Wachstumszeit nicht umzubauen (also den Sensor nicht zu wechseln), fiel die Wahl des Hauptsensors zur Saatreihendetektion auf eine Kamera. Ein Beispielbild aus einem Acker mit Zucker-

rüben zu einem Entwicklungszeitpunkt, welcher typisch ist zum Hacken, ist in Abbildung 2 dargestellt. An diesem Bild wird der entwickelte Algorithmus beispielhaft erklärt.



Abbildung 2: Beispielbild zur SR Detektion

### Vegetation Indices

Aus der Literatur sind diverse Vegetation Indices bekannt. Eine (meist lineare) Kombination der drei Farbkanäle des Farbbildes der Kamera führt zu einer Verstärkung der grünen Pflanzen im Bild.

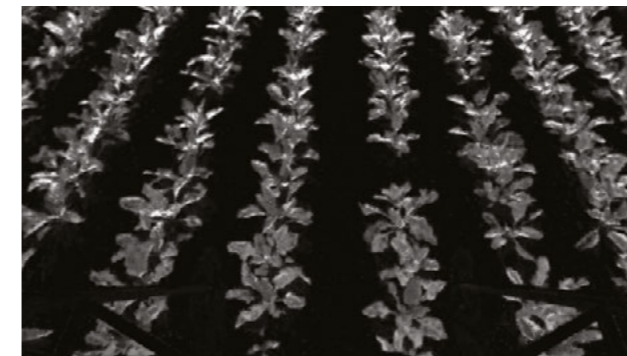


Abbildung 3: Beispielbild: Excess Green

### Zeilenweise Diskretisierung

Versuche zeigten, dass nur jede 40. Zeile des Bildes weiterverarbeitet werden muss. Werden mehr Zeilen verarbeitet, steigt die Detektionszuverlässigkeit nicht weiter an. Jedoch steigt die benötigte Rechenleistung signifikant an. In Abbildung 4 werden diese Bildzeilen für den oberen Teil des Beispielbildes gezeigt.

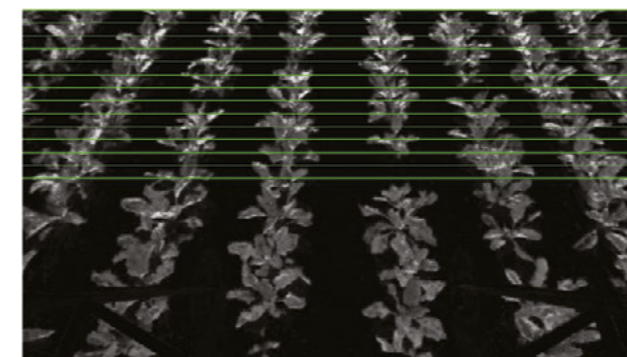


Abbildung 4: Selektion der Bildzeilen

### Faltung

Beispielhaft sei nun für die unterste der grünen Zeilen aus Abbildung 4 die weitere Verarbeitung gezeigt:

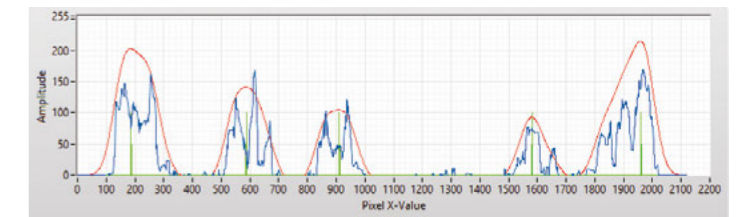


Abbildung 5: Faltung und Interpretation

Die Pixelzeile (Abb. 5 - blau) wird zunächst mit einer Gaus-funktion gefaltet (Abb. 5 - rot). Die Maxima dieser Funktion zeigen die potenziellen Punkte der Saatreihen (Abb. 5 - grün). Diese Punkte werden aus allen selektierten Zeilen zu einer Punktwolke zusammengefügt:

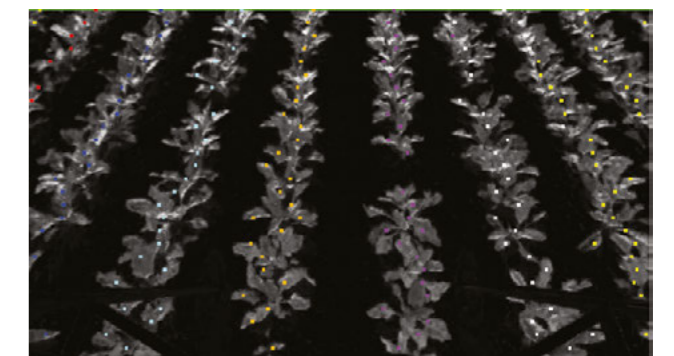


Abbildung 6: Alle potenziellen Punkte einer SR

In Abbildung 6 sind die Punkte über einen Algorithmus mit DB-Scan Ansatz bereits zu Clustern zusammengefügt worden. Nun können über eine lineare Regression (total least squares) die Cluster-Punkte zu einer Regressionsgeraden zusammengefasst werden. Dabei wurden die Punkte, welche näher an der Kamera sind, höher gewichtet als Punkte, welche weiter oben im Bild sind (also weiter weg von der Kamera). Daraus entsteht das Titelbild dieses Artikels. Die Saatreihe ganz rechts im Bild beinhaltet einen Fehler, weil das Clustering hier eine Saatreihe zu wenig detektiert hat (siehe Abb. 6). Künftig muss das Clustering demnach weiter verbessert werden.

### Zusammenfassung

Die Kombination aus Farb- und Musterinformationen scheint ein sehr effektiver Ansatz zu sein, um Saatreihen in digitalen Bildern zu identifizieren. Es sind noch Anpassungen nötig, um die Robustheit der Detektion zu verbessern, sie sind aber einfach zu implementieren und werden die Komplexität des Algorithmus nicht vergrößern.

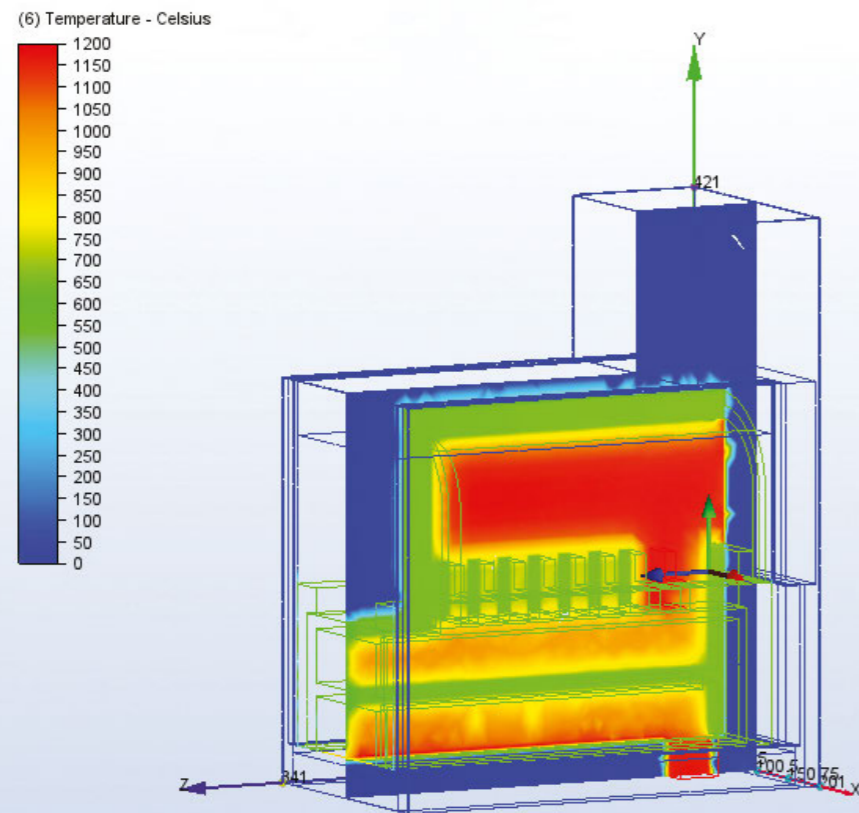
### Projektteam

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

# Vorstudie zu einer neuen Heizmethode für Elektrokremationsöfen in Etagenbauform

Daniel Jakober

Elektrokremationsöfen weisen gegenüber Gaskremationsöfen ein enormes Energiesparpotenzial auf. Allerdings ist die Lebensdauer der Ofenausmauerung nur halb so gross. Durch eine neuartige Heizmethode, die sich direkt im Brennraum befindet, kann die Lebensdauer auf das Doppelte erhöht werden.



## Problemstellung

Elektrokremationsöfen verbrauchen für das Aufheizen nur einen Zehntel der Energiemenge gegenüber Kremationsöfen, die mit Naturgas betrieben werden. Vor der ersten Kremation werden sie mit elektrischen Heizwendeln auf eine Temperatur von mindestens 700°C aufgeheizt, damit die Verbrennung sauber starten kann. Diese Heizwendel dürfen allerdings nicht direkt mit den Brandgasen in Berührung kommen, da sie sonst sehr schnell korrodieren würden. Aus diesem Grund werden sie in der Ofenausmauerung in speziellen Schamottesteinen verbaut. Sie sind in der folgenden Abbildung in grün eingezeichnet.

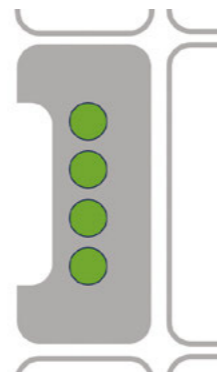


Abbildung 1: Querschnitt des speziellen Schamottesteins

Damit die Heizleistung schneller in den Brennraum gelangt, weisen diese speziellen Schamottesteine zwischen den Heizwendeln und dem Brennraum nur eine geringe Wandstärke auf, wie in der Abbildung 1 zu erkennen ist. Dies stellt aber andererseits eine strukturelle Schwachstelle dar, da die gesamte Ausmauerung erneuert werden muss, sobald die Schamottesteine soweit korrodiert sind, dass die Heizwendel freiliegen. Würden also die Heizwendel aus den Steinen entfernt und normale Schamottesteine verbaut werden, könnte so die Lebensdauer deutlich erhöht werden und würde sich nicht mehr von der des Gaskremationsofens unterscheiden. Deshalb wurden in einer Vorstudie verschiedene Aufheizkonzepte geprüft, wie der Elektrokremationsofen elektrisch auf die gewünschte Temperatur geheizt werden kann, ohne dabei die Ofenausmauerung strukturell zu schwächen. Unter den elf berücksichtigten Varianten haben sich zwei als wirtschaftlich möglich herausgestellt. Diese werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

## Erzwungene Konvektion

Die eine Variante der elektrischen Aufheizung wäre mittels erzwungener Konvektion und würde ähnlich wie ein Umluftbackofen funktionieren. Dafür wurde untersucht, welche Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten nötig sind, um die gewünschte Heizleistung zu erreichen. Als Medium wurden Luft, Wasserdampf und CO<sub>2</sub> berücksichtigt.

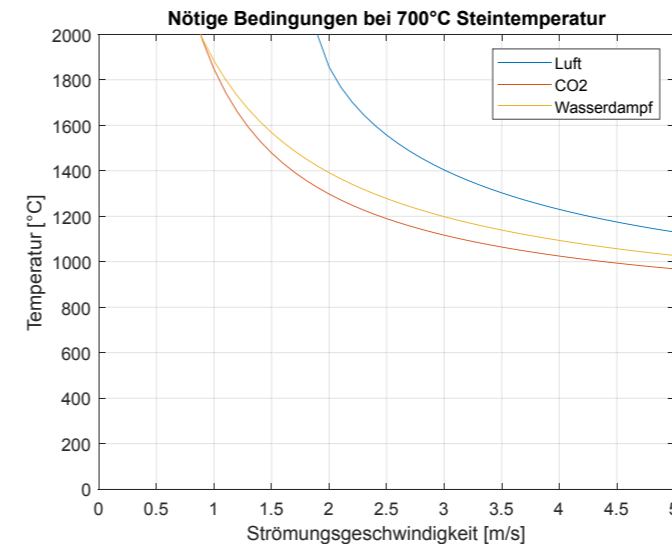


Abbildung 2: Wärmeübertragung mit erzwungener Konvektion

Wie in der Abbildung 2 zu erkennen ist, eignen sich Wasserdampf und CO<sub>2</sub> besser für die Wärmeübertragung als Luft. Was allerdings berücksichtigt werden muss, ist die nötige Strömungsgeschwindigkeit, denn auch Hochtemperaturventilatoren können nur bis zu einer maximalen Temperatur eingesetzt werden.

## Wärmestrahlung

Die andere Variante der elektrischen Aufheizung wäre mittels Wärmestrahlung. Dabei befindet sich ein Heizelement direkt im Brennraum und heizt die Ofenwände von innen

auf. Dafür wurde untersucht, welche Strahlertemperatur nötig ist, um die gewünschte Heizleistung zu erreichen.

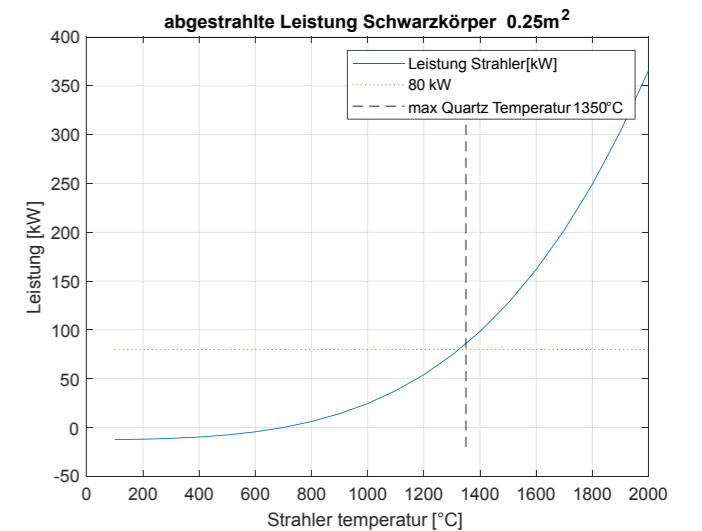


Abbildung 3: Wärmeübertragung mittels Wärmestrahlung

Wie in der Abbildung 3 zu erkennen ist, reicht bereits eine Fläche von 0.25m<sup>2</sup> bei 1350°C aus, um 80kW Heizleistung in den bereits 700°C warmen Ofen einzubringen.

Damit ein solcher Heizstrahler im Brennraum nicht so schnell korrodiert, sollen moderne Keramik entweder direkt als Strahlmaterial oder als Schutzhülle eingesetzt werden.

## Zusammenfassung

Da bei der Heizmethode mit erzwungener Konvektion eine grosse Strömungsgeschwindigkeit nötig ist, um die gewünschte Heizleistung zu übertragen, erfordert dieser Ansatz eine komplette Neukonstruktion des Elektrokremationsofens.

Die Heizmethode mit Einbringung von direkter Wärmestrahlung in den Brennraum sieht dahingehend vielversprechend aus, da bei kleinen Änderungen an der bestehenden Konstruktion bereits viel mehr Heizleistung übertragen werden kann und gleichzeitig sich die Möglichkeit eröffnet, während dem Kremationsprozess zusätzliche Wärmeenergie einzubringen. Deshalb wird nun in einem laufenden Folgeprojekt eine solche Heizung entwickelt und getestet.

## Industriepartner

Friedrich 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

# SmartGridready Testlabor

David Zogg

«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 soll ein Testlabor an der FHNW aufgebaut werden. Das interdisziplinäre Projekt basiert auf einer Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Instituten (IA, IMVS, IEE).

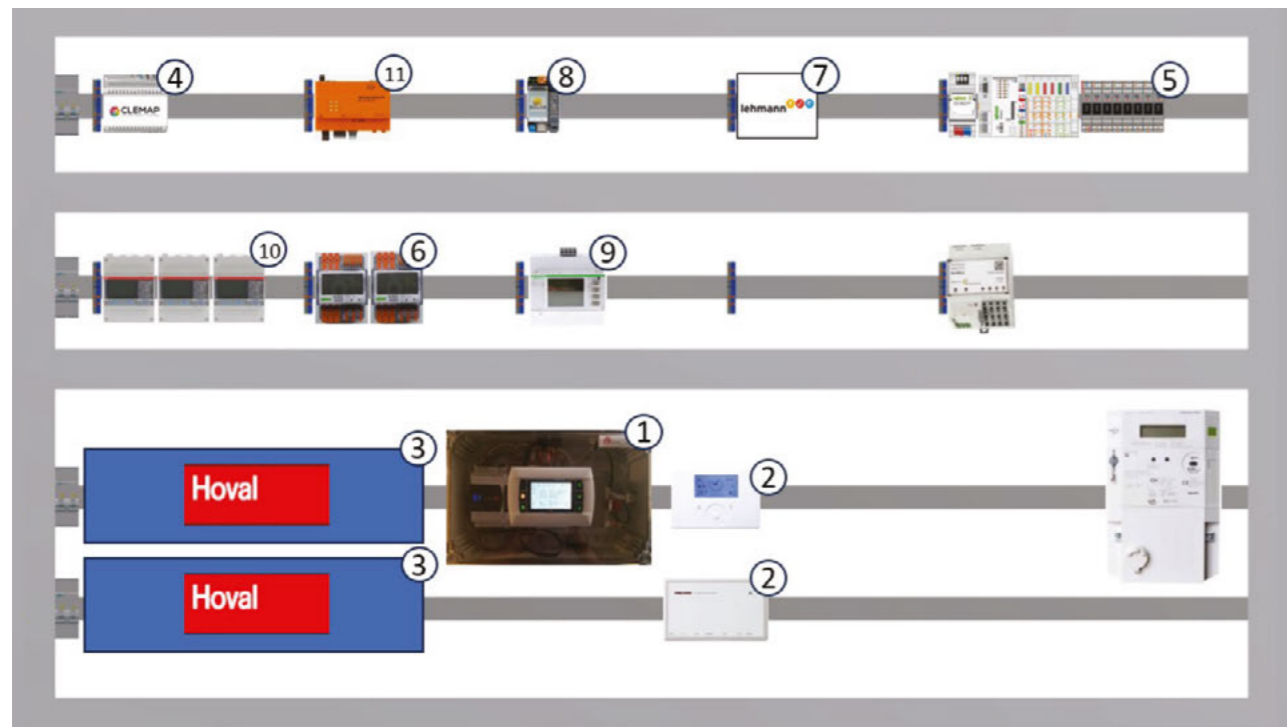


Bild 1: Testwand Grundmodul

## Ausgangslage und Zielsetzungen

Der Erhalt des SmartGridready-Labels erfolgt über eine Selbstdeklaration, welche über die Deklarationsstelle des Vereins SmartGridready begleitet wird. Ein wesentlicher Faktor sind dabei die Tests der Geräte auf Interoperabilität mit realer Hardware. In der frühen Entwicklungsphase wurden diese Tests stichprobenweise im Feld geführt. Dies soll nun durch ein systematisches und reproduzierbares Testing im Labor ersetzt werden. Die Tests im Labor werden als Dienstleistung an die Hersteller verstanden, um ihre Produkte in einer frühen Phase auf die SmartGridready-Fähigkeit zu prüfen. Es sind «Plugfests» vorgesehen, welche die Zusammenarbeit zwischen den Herstellern fördern soll. Zudem kann das Labor für systematische Hardware-Tests verwendet werden, welche den Deklarationsprozess unterstützen. Anfragen bei diversen Herstellern haben ergeben, dass das Bedürfnis des Marktes für ein solches Labor sehr hoch ist.

## Anforderungen

Die Geräte sollen auf folgenden Stufen getestet werden können:

- Funktionstests: Test aller Funktionsprofile und Datenpunkte. Es wird geprüft, ob das Gerät plausible Antworten zurückliefert.
- Stresstests: Tests der Datenpunkte mit hohem Datentransfer unter Dauerbelastung. Es wird geprüft, wie robust die Verbindungen sind bei längerfristigem Betrieb wie im Feld.
- Negativtests: Hier werden gezielt Software- oder Hardware-Fehler produziert. Es wird geprüft, wie gut die Systeme sich nach Unterbrüchen wieder erholen und automatisch in den normalen Betrieb zurückfinden

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

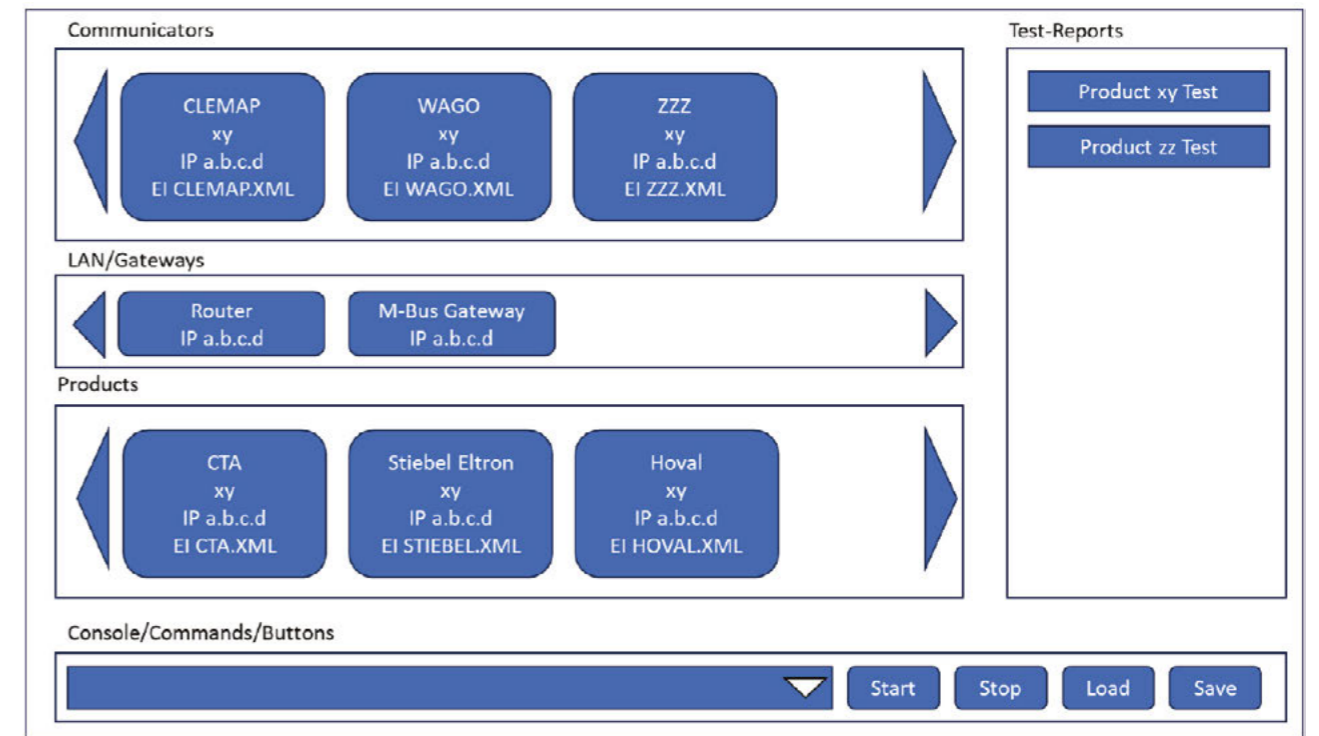


Bild 2: Benutzerschnittstelle für Testdurchführung (Vorschlag)

## Erweiterbare Testwände

Das Testlabor wird modular mit mobilen Testwänden aufgebaut, so dass es später einfach erweitert werden kann. Das Grundmodul gehört zur ersten Ausbaustufe (Bild 1). Es wird in drei Komponentenkategorien eingeteilt. Auf der obersten Ebene befinden sich die Energiemanagementsysteme (EMS). Die mittlere Ebene umfasst die Gateways und Stromzähler, während die unterste Ebene für die Platzierung der Produkte vorgesehen ist. Dazu gehören beispielsweise die Wärmepumpen. Es werden allerdings nicht die vollständigen Geräte, sondern nur deren Controller installiert (Elektronik). Diverse Hersteller haben bereits zugesagt, ihre Hardware zur Verfügung zu stellen.

## Entwicklung Test-Framework

Der Fokus liegt in der Entwicklung eines neuartigen Software-Testframeworks für SmartGridready-Produkte. Dieses Framework soll vollautomatische Tests der von den Produkten zur Verfügung gestellten Funktionsprofile und Datenpunkte ermöglichen. Dazu werden maschinenlesbare Hardware-Beschreibungsdateien eingelesen (XML-Files), aus welchen der Testablauf automatisch generiert wird. Über eine Benutzerschnittstelle (Bild 2) können die Produkte ausgewählt werden und die Tests gestartet werden. Während der Tests werden alle Datenpunkte systematisch auf ihre Funktionalität geprüft und automatisch ein Protokoll erstellt (Bild 3). Für den Testaufbau wird ein Labornetzwerk aufgebaut (Bild 4), welches Zugriff auf die Cloud hat. Damit können die aktuellen Versionen der Hardware-Beschreibungsdateien für die verschiedenen Hersteller eingelesen werden und die Testreports von aussen abgefragt werden. Auch eine Fernsteuerung der Prüfabläufe ist möglich.

## Integration ins SmartGrid über lokale Energiemanagementsysteme (EMS)

Zentral ist die Kommunikation der «Prosumer» mit dem intelligenten Stromnetz. Dazu wird in Zukunft jedes Gebäude bzw. jeder Produzent/Konsument 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.

## Projektphasen für den Aufbau

Bild 5 zeigt die geplanten Projektphasen für den Aufbau des Testlabors. Zur Zeit der Berichterstattung steht das Projekt in der Konzeptphase. Es wurde bereits ein Grobkonzept erstellt und mit den Auftraggebern besprochen, worauf grundsätzlich grünes Licht für das Projekt gegeben wurde. In einem nächsten Schritt wurde ein Detailkonzept erstellt, welches Basis für den grundsätzlichen Entscheid zum Bau des Labors dient. Es wird davon ausgegangen, dass dieser positiv ist. Ab Frühjahr 2024 soll mit dem Hardware-Aufbau und der Softwareentwicklung gestartet werden. Voraussichtlich ist eine erste Ausbaustufe im September 2024 betriebsbereit.

**Test-Protokoll für Produkt CTA AG – Optiheat (Beispiel)**

Datum: dd.mm.yyy Zeit: hh.mm / Test-Verantwortlicher: Vorname.Name  
 Name Hersteller: CTA Wärmepumpen AG / Typ Gerät: OptiHeat Inverta Eco 17a  
 Software Rev. 2.1.0 / Hardware Rev. 1.1 / SmartGridready Level 4

Interface: Modbus TCP  
 IP: aaa.bbb.ccc.ddd:Port – Slave ID 1

**Functional Profile - DeviceInformation**

Datapoint	Unit	Type	MRO	RWP	Sent Value	Received Value	Test Results
ctaRemoteCtrlTimeSec	s	int16U	M	RW	0	0	passed
...							

**Functional Profile - HEATPUMPBASE**

Datapoint	Unit	Type	MRO	RWP	Sent Value	Received Value	Test Results
ctaHPOpModeCmdFb	-	enum	O	R	-	1 - HP_STANDBY	passed
OutsideAirTemp	°C	float	M	R	-	10	passed
SupplyWaterTemp	°C	float	M	R	-	35	passed

Bild 3: Automatisch erstellter Testreport (Beispiel)

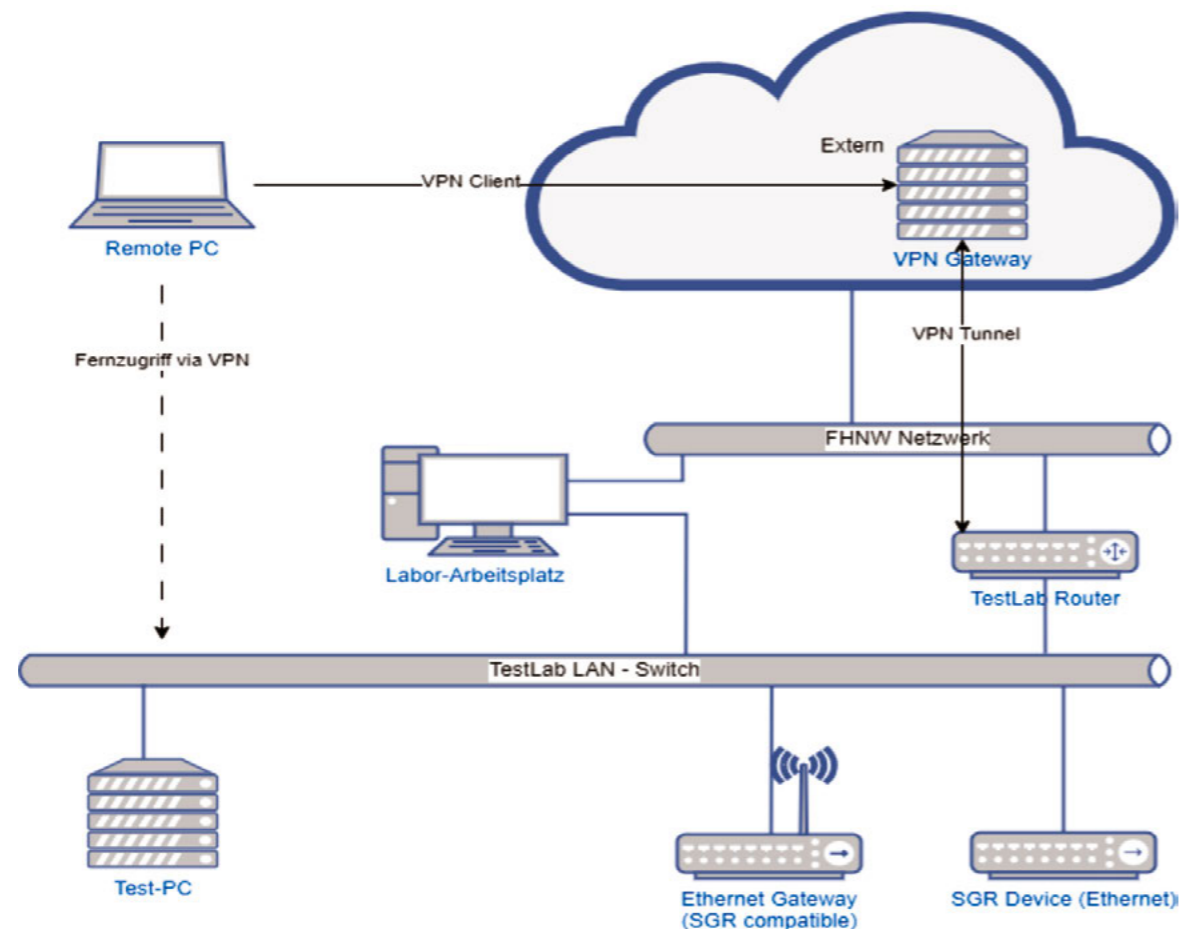


Bild 4: Testlab-Netzwerk mit Cloud-Anbindung

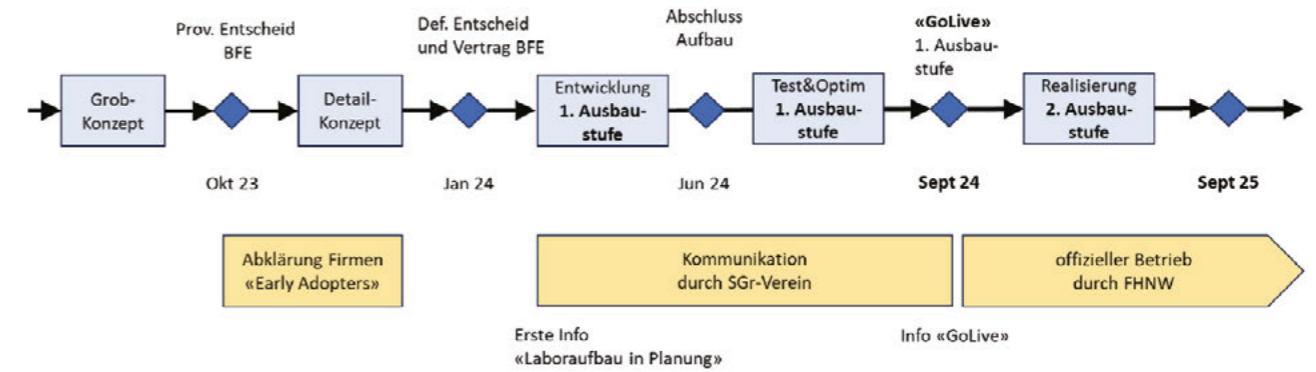


Bild 5: Projektphasen zum Aufbau des Testlabors (Planung)

**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-Studierender «Industrial Technologies» und Wissenschaftlicher Assistent IA, Entwicklung Hardware-Aufbau

**Auftraggeber / Finanzierung**

SmartGridready-Verein, www.smartgridready.ch  
 Bundesamt für Energie (BFE)

**Preis**

**SGA Förderpreis**

Matthias Geissmann hat am 08.02.2024 an der HSLU Hochschule Luzern den SGA Förderpreis 2023 für seine exzellente Masterthesis „Iterative Learning Model Predictive Control of Linear Motors“ erhalten. Der Auftraggeber des von der Innosuisse geförderten Projekts war die NTI AG in Spreitenbach. In der Thesis konnte gezeigt werden, wie die Regelungsgüte von Linearmotoren durch den Einsatz von lernenden modellprädiktiven Methoden auch unter dem Einfluss von nichtlinearen Reibungseffekten um Größenordnungen verbessert werden kann.



**Publikationsliste**

IEEE Transactions on Control Systems Technology:

**Switching Mode Disturbance Observer for Friction Compensation in Linear Motors**

<https://ieeexplore.ieee.org/document/10301155>

M. Geissmann, H. P. Willi, W. Fischer, P. Kontopulos and T. J. Besselmann, „Switching Mode Disturbance Observer for Friction Compensation in Linear Motors,“ in IEEE Transactions on Control Systems Technology, doi: 10.1109/TCST.2023.3325718.



# Personenerkennung vor «Outdoor-Grossbildschirm»

Hans Gysin

Die Firma Schaltag AG ist ein führender Hersteller von Outdoor-Grossbildschirmen. Aspekte des Energieverbrauchs und der Informationsvermittlung dieser Bildschirme wurden vom IA im Rahmen eines Innosuisse Projektes untersucht und entsprechende Optimierungen für ihren Ausseinsatz vorgeschlagen. «Machine Learning» Methoden (ML) greifen dabei an verschiedenen Punkten der Bildschirmsteuerung an und erlauben einen effizienteren Display-Betrieb.



Abbildung 1: Zeigt die Auswertung einer Objekt- bzw. Personenerkennung mittels Kamerabild. Trotz «Erschwernissen» wie Schnee und Dunkelheit ist diese Objekterkennungs-Software in der Lage, Menschen und verschiedene Objekte zu erkennen und zu lokalisieren.

## Problematik / Ziel

Die Outdoor-Grossbildschirme stehen heute fast ausschliesslich als «Werbe- und Informationsflächen» im 24 Stunden Dauerbetrieb. Ungeachtet des Empfängerpublikums strahlen sie ihre Botschaften in die Umgebung und benötigen dazu entsprechend Energie. Nur noch dann Information zu verbreiten, wenn ein entsprechendes Publikum vorhanden ist, war bezüglich Energieverbrauch eines der Ziele. Können die Informationen auch noch dem entsprechenden Publikum angepasst und dieses Zielpublikum aufmerksam gemacht werden, dann kann die Effizienz dieser Bildschirme «maximiert» werden.

ML-Methoden sind prädestiniert für den Einsatz zur Lösung dieser Problematik. Allerdings bestehen auch Schranken

wie z.B. die gesetzliche Regelung beim Einsatz von Kameras im öffentlichen Raum oder die Lärmbelastigung der Umgebung usw.

## Vorgehen und Umsetzung

Das Outdoor-Bildschirm Projekt war geeignet, verschiedenste Funktionen des Bildschirms mit ML-Methoden zu optimieren. Spektakulär und auch entsprechend anspruchsvoll ist dabei der Bereich der «Individualisierten Werbung». Man kennt sie bereits aus verschiedenen Forschungs- und Testprojekten auf Flughäfen, Bahnhöfen und Shopping-Centren. Vorwiegend Alter und Geschlecht der Personen in Bildschirmnähe werden dabei bestimmt und die «entsprechende» Werbung auf dem Display aufgeschaltet.

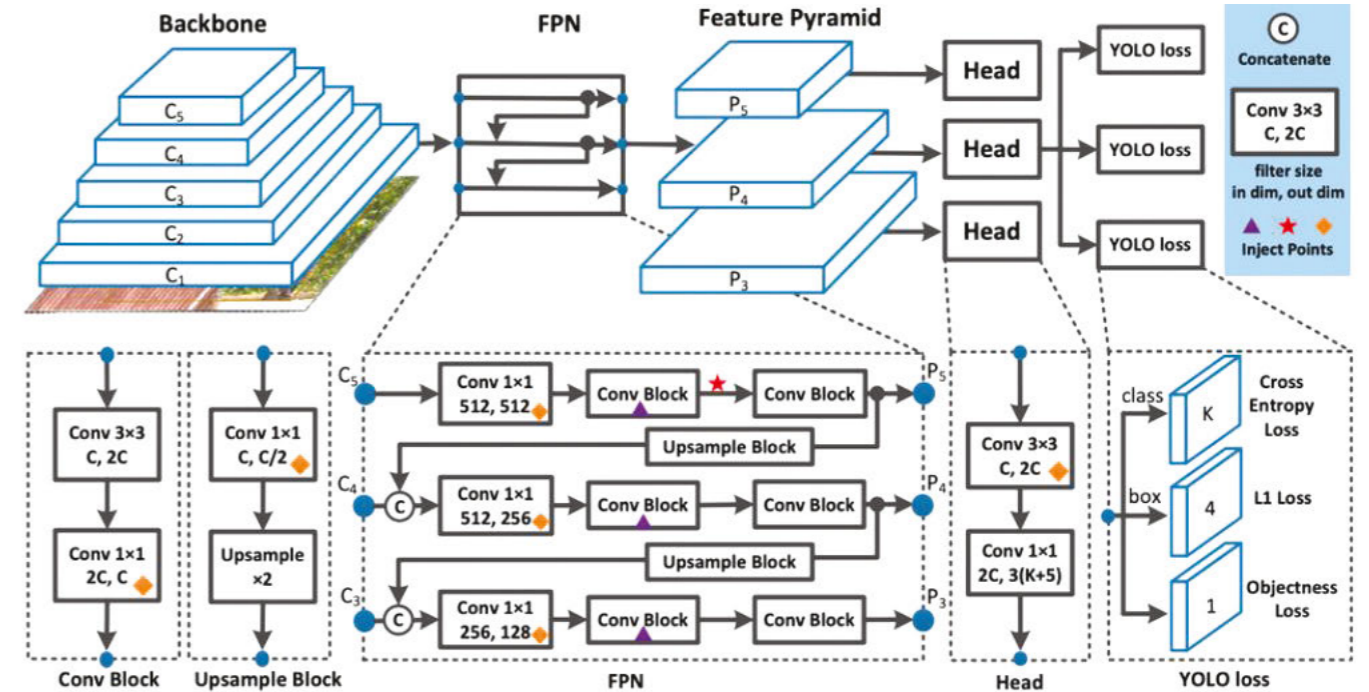


Abbildung 2: Zeigt als Beispiel die Komplexität der Architektur eines solchen, vortrainierten YOLO-Netzwerkes. Das Künstliche Neuronale Netz, die eigentliche KI, tritt dabei etwas in den Hintergrund. Das Geheimnis dieser Bild verarbeitenden Netzwerke liegt bei der geschickten Datenorganisation und der entsprechenden Datenaufbereitung.

Im Outdoorbereich sind die Anforderungen an diese individuelle Werbung allerdings noch einiges grösser. Die teilweise grossen Distanzunterschiede der Personen zum Bildschirm, die sehr unterschiedlichen Beleuchtungen, aber auch Personen, die beim Vorbeigehen kein Interesse für den Bildschirm zeigen, sind neben vielen weiteren Punkten eine echte Herausforderung. Interessante Aspekte zeigte auch die Forderung zur Energieeinsparung.

Eine Ausrüstung des Bildschirms mit einfachen Infrarot- oder Radarmeldern zur Personenerkennung kam nicht infrage. Jede Katze und jedes Auto würden nachts auf dem Parkplatz den Bildschirm wieder unnötig hochfahren. Also auch für diese Anforderung wurde eine Kamera eingesetzt, um nur beim Auftauchen von Personen den Bildschirm zu aktivieren.

## Resultate

Die Erzeugung eines Modells mit diesen Fähigkeiten, wie sie im Abbildung 1 gezeigt sind, ist allerdings aufwändig und nicht im Umfang eines üblichen Innosuisse-Projektes machbar. Das Bild zeigt als Werbung die Fähigkeiten eines sogenannten vortrainierten Netzes (YOLO), das eine Firma professionell einsetzt (vermarktet) und interessierten Forschern zur Verfügung stellt. Solche Netzwerke, auf der Basis von künstlichen neuronalen Netzen, mit einer umfassenden Datenaufbereitung bei den Bilddaten, können bei Bedarf auch nachtrainiert und somit auf weitere Funktionen zugeschnitten werden. In unserem Falle genügte eine Auswahl und Optimierung der Funktionen, um eine Präsenzkontrolle (Anwesenheit von Personen) zu realisieren. Tests zeigten, dass mit der eingebauten Kamera, vom Bildschirm aus, Personen bei allen «Wetterlagen» und Ta-

geszeiten bis zu ca. 15 m, in genügend kurzer Zeit, erkannt werden. Man kann somit ein solches YOLO-Netzwerk mit guter Zuverlässigkeit als KI-Präsenzsensoren für die Steuerung des Bildschirms verwenden und den Betrieb auf die Anwesenheit von «Kunden» ausrichten.

## Stand und Ausblick

Verschiedene Aspekte der Energieeinsparungen durch Betriebszustands-Prognosen und Bedarfssteuerungen konnten mit «Machine Learning» Ansätzen untersucht, realisiert und getestet werden. Auch erste Ergebnisse in Hinblick auf Individualisierte Werbung wurden erreicht. Das Zusammenschalten aller Komponenten stellt aber erhöhte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Bildschirmrechner und erfordert dadurch wieder vermehrten Energieeinsatz.

Modernste Hardware gepaart mit KI-Software-Modulen neuester Technik und einem geschickten Betriebskonzept erlauben im nächsten Schritt den sparsamen, autonomen Outdoor-Grossbildschirm mit bedarfsgesteuerter, individualisierter Werbung und Informationsvermittlung.

## Projektteam

Schaltag AG, CH-8307 Effretikon:  
Walter Fröhlich, Head of Engineering  
Dr. Michael Buscher, VR-Präsident

FHNW / Institut für Automation:  
Nils Ammann, MSE Student und wiss. Assistent  
Yannick Christen, MSE Student und wiss. Assistent  
Prof. Hans Gysin, Dozent, hans.gysin@fhnw.ch

# Optimization of processing accuracy of industrial robots in machining manufacturing

Gianin Flucher

In the context of a master's thesis, a methodological framework was devised to enhance the precision of traditional industrial robots. The focus is on maintaining machining tolerances despite cutting forces and other disturbances. The optimization process includes identifying optimal parameters, calibrating the robot for improved accuracy, investigating machining positions, and developing optimal milling strategies.

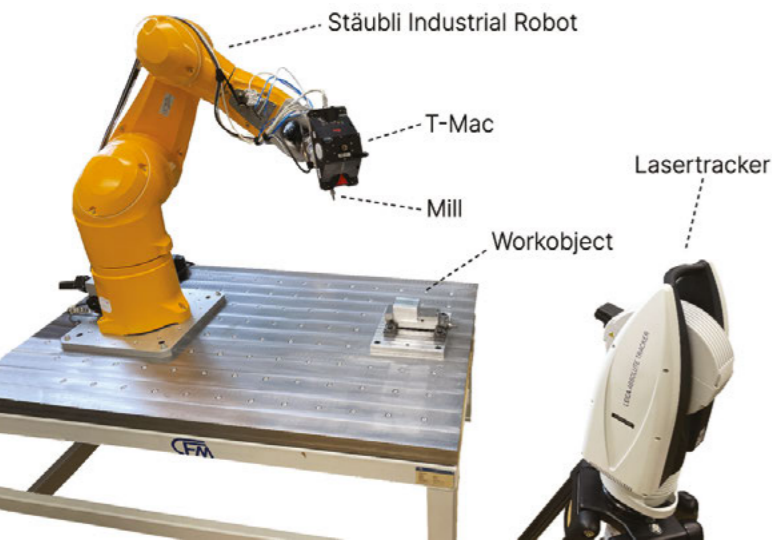


Figure 1: Robot and measuring system for carrying out the experiments.

## Introduction

The integration of industrial robots in machining applications opens up a wide range of possibilities, especially in scenarios where conventional machine tools reach their limits. However, the lower stiffness of the serial chain kinematics of a six degrees of freedom industrial robot compared to dedicated machine tools poses a challenge, as they are more sensitive to the forces induced by machining processes.

## Preliminary Investigation

The experimental setup is shown in Figure 1. The robot used is a Stäubli TX2 90 six-axis robot with a maximum reach of 1000 mm and a nominal payload of 6 kg. It has remarkable repeatability with an accuracy of  $\pm 0.03$  mm. The FT-AXIA 80 force sensor, which uses silicon strain gauges to measure six degrees of freedom, measures forces and moments in all three dimensions directly on the robot flange. The Leica Geosystems AT960 laser tracker, in combination with the T-Mac sensor, captures spatial coordinates.

## Experimental Validation

### A. Test piece and experimental planning

To compare accuracy improvement experiments, a diverse test scenario representing different milling robot applications is crucial. The workpiece was an aluminium cube ( $59.5 \times 59.5 \times 80$  mm) clamped in a vice. The robot milled five contours (Fig. 2) on the cube's surface, including straight lines, a wavy contour, a star-shaped and a circular contour. After milling, specific workpiece features were measured to assess both positioning accuracy and machining.

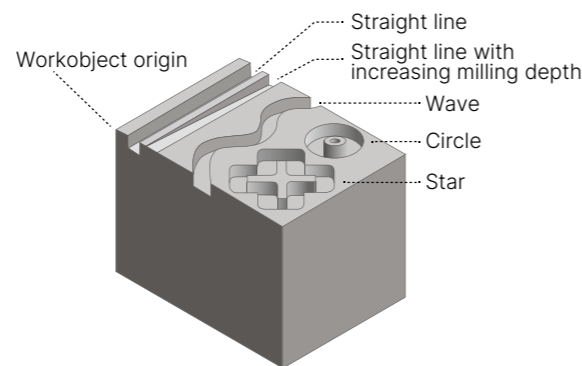


Figure 2: CAD model of the test piece consisting of five milling paths for evaluating the performance of the methods.

### B. Optimization of process parameters

To improve milling and reduce vibration, accurate process parameters are essential. Tests on two parts explored different feed rates and spindle speeds. Optimum results were achieved with spindle speeds of 13,000-18,000 rpm and a feed rate of 300-800 mm/min. The best results were obtained at 15,000 rpm and 500 mm/min, minimising errors and vibration. Cutting depth variations of up to 0.3mm had minimal effect.

### C. Absolute calibration

To achieve precise calibration of the robot, Hexagon's RoboDyn software in combination with the lasertracker was used. This software calculated optimised kinematics and DH parameters using a kinematic model and several robots poses along with corresponding joint angles. The improved DH parameters are shown in Table 1.

link [i]	$a_i$ [mm]	$\alpha_i$ [grad]	$d_i$ [mm]	$\theta_i$ [grad]
1	0.2456	-0.0049	0.0433	0.0026
2	49.8598	-89.9924	0.0348	-89.9825
3	424.9404	-0.0294	50.0348	90.0111
4	-0.0514	89.9728	424.9067	0.0048
5	0.0221	-89.9868	-0.0021	0.0278
6	0.0088	89.9918	-0.0971	-0.0034
7	0.0307	-0.0047	99.9029	-0.0034

Table 1: Optimized DH parameters of the Stäubli Robot

The improved kinematic model significantly improved the accuracy of the robot, reducing the maximum error from the uncalibrated 0.521mm to 0.0428mm. Traversing straight and circular lines resulted in maximum position errors of 0.023mm and 0.057mm respectively. Calibration maintained a machining tolerance of  $\pm 0.2$ mm for all contours when milling the test piece (Figure 2), confirming the effectiveness of the 'absolute calibration' method. Similar improvements were observed when measuring with a measuring arm, ensuring tolerances of  $\pm 0.2$ mm for surface finishes and contour depths.



Figure 3: Snapshot during the milling process of the test piece.

### D. Optimized machining position

In the context of the "Machining Position", the test object underwent machining at two different positions, each with two considered orientations, as shown in Fig. 4. These four processes imposed varying conditions on the robot. In Position 1, milling at 0 degrees used axes 4 and 6, and at 90 degrees, it shifted to axes 3 and 5. In Position 2, axes 1 and 4 were used, and at 90 degrees, axes 3 and 5 handled

milling. Successful milling at orientation  $0^\circ$  in position 1 confirms calibrated axes 4 and 6. In position 2, milling at  $0^\circ$  also utilized axis 4 effectively. However, milling at  $90^\circ$  in position 1 yielded inferior results, indicating sensitivity to axes 3 and 5 rotations. Similar sensitivity was observed in position 2 at  $90^\circ$ . Axis usage suggests machining accuracy is affected by position and orientation, recommending minimizing movements of axes 3 and 5 for improved accuracy. A definitive recommendation awaits further trials and a more comprehensive dataset including axis forces and error analysis.

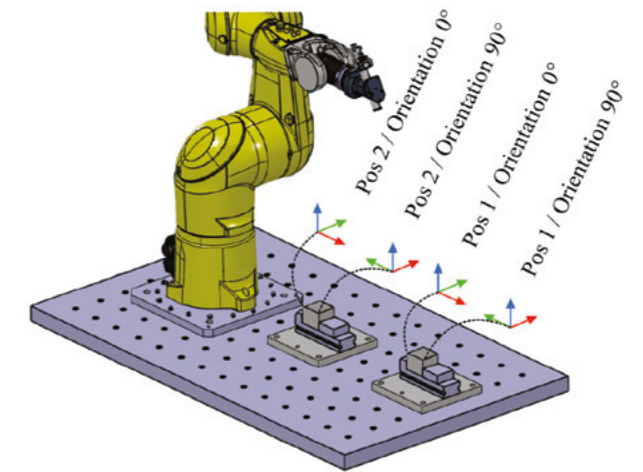


Figure 4: Four different machining positions of the test piece on the laboratory plate for the milling test.

### E. Adaptation of milling strategy

Three approaches were tested in the "Milling Strategy Adaptation" experiment: "One Direction", "Spiral" and "Zigzag". "One Direction" showed consistent forces and improved surface quality. "Spiral" produced a uniform surface but suffered from force and accuracy issues. "Zigzag" provided a balanced force distribution and successful machining. Despite a slightly inferior result, "Zigzag" had a shorter milling time, although accuracy favoured "One Direction" due to its consistent forces and superior surface quality, making it the preferred strategy.

## Conclusion And Future Work

This study improves the accuracy of industrial robots in manufacturing by using modular accuracy improvement methods. It investigates factors such as positional uncertainties and dynamic behaviour under different loads and develops a methodology with four methods to minimise confounding factors. Validation compares compensated methods with uncompensated robot performance using live motion data. Absolute calibration significantly improves accuracy and further accuracy improvements result from optimised machining positions and adapted milling strategies. The study provides a framework for advancing the role of industrial robots in precision manufacturing.

## Team

Gianin Flucher, Wissenschaftlicher Assistent, gianin.flucher@fhnw.ch

# Bachelor-Thesen

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

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber Partner Firma	Advisor	Studierende
Unkrauthacken in der Landwirtschaft - Lagebeurteilung und geometrische Abläufe am Traktor beim Hacken.	FHNW/ISE	Kuhn Thomas Keller Jürg	Furter Tim
Entwicklung eines verbesserten Navigationssystems für Unterwasser-Reinigungsroboter	Mariner3S	Pischtschan Martin	Schneider Michel
Beschickungs- und Entnahmeroboter für einen 3D Drucker	Selmoni Ingenieur AG	Eichin Heinz Hunziker Martin	Chennanparambil Deepu
Hochspannungs-Wärmepumpe für individuelle E-Auto	Manufaktur Marton GmbH	Eichin Heinz	von Bülow-Köster Nicola
Innovative Robotik für den Einsatz auf Kochfeldern, erzeugen von Machine Learning Daten	Auftraggeber vertraulich	Anderegg Roland	Tenud Sandro
Service- und Wartungstool für RADAR Sensoren für Bahnanwendungen	Auftraggeber vertraulich	Pendharkar Ishan Anderegg Roland	Wiedmer Philippe
Innovative Digitalisierung für die Modellzüge des Eisenbahnbetrieblabors	Eisenbahnbetrieblabor Schweiz AG	Pendharkar Ishan Anderegg Roland	Wiedmer Philippe
Maschinen Einstelldaten elektrisch sammeln und auswerten	Soudronic AG	Böller Michael	Arslan Alper
Analysetool / Datenlogger für den Instandhalter oder vor Ort Automatisierung	Novartis /CBRE GWS GmbH	Böller Michael	Hauser Yan
IoT-Kamerasystem zur Leckageüberwachung in Technikräumen	F. Hoffmann-La Roche AG Energiebetriebe und Werkstätten (PSTM)	Böller Michael	Dipner Florentin
Automatisiertes Ausgiessen von Läuferrohren mit Epoxidharz	NTI AG	Geissmann Matthias Besselmann Thomas	Binkert Andreas
Redundantes Brennstoff-System für Netzersatzanlagen	Avesco AG	Anderegg Roland	Achermann Cédric
Synchronisierung von Messsignalen in der Steuerungstechnik	FHNW/IA	Böller Michael	Hunziker Lukas
Neues Sammelauslage-Modul für vorhandene Klebebindenstrasse	Baumberger Print AG	Bruno Antonio Anderegg Roland Zimmermann David	Baumberger Ruppert Simon
Linearmotor PID Tuning App	NTI AG LinMot & MagSpring	Fischer Wolfgang Geissmann Matthias Besselmann Thomas	Zihlmann Lars
Echtzeit Prozessüberwachung mit Machine Learning (Fortsetzung)	Auftraggeber vertraulich	Böller Michael Steiner Marcel	Frame Christopher
Automatic Hydraulic Balancing for Floor Heating	Fr. Sauter AG	Zihlmann Albert	Frey Christoph
Sonnenlichtkompensation für die Raumtemperaturregelung	Auftraggeber vertraulich	Besselmann Thomas Zihlmann Albert	Gut André
Entwicklung einer Regelung- und Steuerungseinheit für den Betrieb eines Hochtemperaturofens für das Neutronenimaging von Varistoren	ANAXAM	Keller Jürg	Scheidegger Patrick
Kraft-Weg Diagrammauswertung mit Raspberry Pi und Codesys	Jenny Science AG	Besselmann Thomas Begert Daniel	Fischer Reto
Entwicklung eines elektrischen Antriebs für einen Tablarlift als Komfortlösung oder für Menschen mit Beeinträchtigung	pekka metall	Geissmann Matthias Fischer Wolfgang Besselmann Thomas	Pieren Thomas
Laserbeschriftung Kunststoffband	Auftraggeber vertraulich	Besselmann Thomas Pyrochta Jan	Ackermann Damian

Mess-System für Windgeschwindigkeit und Richtung	Griesser Electronic AG	Eichin Heinz Begert Daniel	Fischer Reto
Open Source Energy Management System	Smart Energy Engineering GmbH	Zogg David	Ferreira Sergio
Datenerfassung von Bluetooth Scannern und Sensorik zur Datenanalyse	Acino Pharma AG	Böller Michael	Hirsbrunner Joshua
Autonome Pfadplanung für elektrische Rollstühle	Curtis Instruments AG	Besselmann Thomas	Vonäsch Raymond
Weiterentwicklung des Kamerasystems eines raupenbasierten Diagnoseroboters für In-Situ Inspektionen von elektrischen Maschinen	Auftraggeber vertraulich	Besselmann Thomas Begert Daniel	Steiner Maurice
Evaluierung des unteren Messbereiches der Durchfluss-Kalibrieranlage FCP-10	Auftraggeber vertraulich	Besselmann Thomas	Säuberli Marvin
Optische Kalibrierung einer Kamera und Galvoscaners eines Metall 3D- Druckers	a-metal	Keller Jürg	Brägger Ramon
Automated HIL Testing for Subsea Drive	ABB Schweiz AG	Zihlmann Albert	Ramseier Pascal
Untersuchungen zur Luftspaltüberwachung von Getriebelosen Mühlenantrieben	ABB Schweiz AG (PAPI)	Pischtschan Martin	Widmer Tim
Weiterentwicklung des Antriebssystems eines raupenbasierten Diagnoseroboters für In-Situ Inspektionen von elektrischen Maschinen	Auftraggeber vertraulich	Besselmann Thomas Traxler-Samek Georg Eichin Heinz	Glutz Fabian
Lötstellenbeurteilung mittels Computer Vision und KI	ELMOTEC AG	Gysin Hans Schleuniger Pascal	Dätwyler Alain
Visuelle Türerkennung für elektrische Rollstühle	Curtis Instruments AG	Besselmann Thomas	Escher Luzia
Energy harvester for wireless sensor node	Ferrum AG	Pischtschan Martin Schleuniger Pascal	Bussmann Jonas
GUI Kaffeemaschinen-Display mit Webtechnologien	Eversys Digitronics AG	Zihlmann Albert Schleuniger Pascal	Farine Marco
Prototyp zur Erfassung des Stellungsverhaltens von Kunststoffarmaturen	Auftraggeber vertraulich	Eichin Heinz Zihlmann Albert	Möri Simon
Entwicklung Nahfeldscanner	ABB Schweiz AG	Zihlmann Albert Schleuniger Pascal	Schlienger Sven
Redesign Automatisierung eines Wärmepumpenprüfstandes in Muttenz	Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau INEB, FHNW	Eichin Heinz Messmer Christoph	Scheideck Louis

## Studiengang

Elektro- & Informationstechnik

Systemtechnik

# Vertiefungsprojekte der Master-Studierenden

Projektthema	Auftraggeber	Advisor	Studierende
Identifikation einer Akro-«fixed-wing»-Drohne	TELLnet AG	Keller Jürg	Jakober Daniel
Portierung eines numerischen Modells zur Herstellung von Ethernet-Kabeln von LabVIEW nach Python	Zumbach AG	Keller Jürg	Kuhn Thomas
Intelligente Werkzeugverschleisserkennung	Fraisa SA	Anderegg Roland	Lerf Marius
Vollautomatische Produktionstechnologie für Laminattuben	Hoffmann Neopac AG	Gysin Hans	Ammann Nils
Entwicklung und Implementierung einer Technologie zum Lesen & Schreiben von 3D DMC in transparente Körper mittels Laserstrahlung und Integration in eine Fertigungsanlage	nano4U AG	Anderegg Roland	Pyrochta Jan
Breitbandige Regelung für elastisch gekoppeltes Drehmoment	ABB	Besselmann Thomas Geissmann Matthias	
CNN basierte Echtzeitregelung	Intern	Keller Jürg	Zihlmann Lars
S*4 Milchpuler	Ferrum Packaging AG	Schleuniger Pascal	Schiltges David