



Bachelorarbeiten 2022

# **Bachelor of Science in Systemtechnik**



### Förderpreis der Stadt Buchs

Absolventinnen und Absolventen sowie das zuständige Institut erhalten je CHF 2000.–

Der Preis wird vergeben zur Förderung von herausragenden Ingenieur-Bachelorarbeiten in den Bereichen:

- Verbesserung der Luftreinhaltung
- Reduktion von Lärmimmissionen
- Reduktion des Energieverbrauchs von technischen Einrichtungen
- Gewinnung erneuerbarer und alternativer Energien

# Vorwort



**Prof. Dr. Michael Christoph Wilhelm**  
Studiengangleiter BSc Systemtechnik

## Sehr geehrte Damen und Herren

Das Studium der Systemtechnik ist spannend, abwechslungsreich und eröffnet ein sehr weites Spektrum an Möglichkeiten für die berufliche Zukunft. Unsere Ausbildung orientiert sich an den Bedürfnissen der Wirtschaft und der Gesellschaft. Es braucht Fachkräfte mit der Kompetenz, neue Ideen zu entwickeln und sie in Produkte umzusetzen. Fachkräfte, die Lösungen für aktuelle und zukünftige Herausforderungen erarbeiten können.

## Was heisst das konkret?

Die vorliegende Broschüre zeigt Ihnen einen Ausschnitt von Systemen und Teilsystemen, die im Rahmen der Abschlussarbeiten entwickelt, verbessert oder ganz neu konzipiert und zum Teil als Prototyp realisiert wurden.

Es ist ein Blick auf die vielfältigen Aufgaben der beruflichen Praxis, die von unseren Studierenden bearbeitet wurden. Sie erhalten so gleichzeitig einen Einblick in die verschiedenen zukünftigen Tätigkeitsfelder der Ingenieurinnen und Ingenieure.

Bei der Lösungsfindung haben die Studierenden Kompetenzen vorgewiesen, die sie während des Studiums entwickelt und ausgebaut haben. Dazu gehören insbesondere ein fachlich versiertes und methodisch strukturiertes Vorgehen sowie planerisches Geschick und Teamfähigkeit.

Nachfolgend finden Sie eine Zusammenstellung der in diesem Jahr verfassten Bachelorarbeiten. Viel Spass beim Lesen der Beiträge!

An dieser Stelle herzliche Gratulation an alle Absolventinnen und Absolventen zu Ihrem Abschluss – auch im Namen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, welche die Studierenden in unserem Hause begleitet haben.

Danke dafür, dass Sie sich für ein Studium an der OST am Campus Buchs und am Campus St. Gallen/Waldau entschieden haben!

September 2022

**Prof. Dr. Michael C. Wilhelm**  
Studiengangleiter BSc Systemtechnik

# Überblick

## Referentinnen und Referenten

- 24 | 27 | 47 Prof. Dr. Carlo Bach
- 10 | 12 | 32 | 39 Prof. Stefan Bertsch
- 33 | 34 | 36 Prof. Roland Egli
- 23 Prof. Dr. Norbert Frei
- 19 Prof. Dr. Urs Graf
- 29 Prof. Rolf Grun
- 31 Prof. Dr. Daniel Gstöhl
- 41 | 45 Prof. Dr. Tobias Lamprecht
- 16 | 20 Prof. Dr. Marco Lehmann
- 44 Prof. Dr. Samuel Huber Lindenberger
- 46 Prof. Dr. Markus Michler
- 26 Prof. Günter Nagel
- 14 Prof. Einar Nielsen
- 15 | 17 Prof. Vincenzo Parisi
- 18 | 21 | 22 | 28 Prof. René Pawlitzek
- 13 Prof. Dr. Rainer Pickhardt
- 30 | 35 | 37 Prof. Dr. Jürgen Prenzler
- 40 Prof. Dr. Cord Henrik Surberg
- 42 | 43 Prof. Dr. Jens Ulmer
- 11 Prof. Adrian Eugen Weitnauer
- 25 | 38 Prof. Dr. Christoph Würsch

# Überblick

## Korreferentinnen und Korreferenten

41	Katrin Albrecht	33	Ueli Scherrer
18   19   26   46	Prof. Dr. Carlo Bach	40	Prof. Dr. Michael Schreiner
31	Prof. Stefan Bertsch	38	M. Sc. Claudio Wolfer
35   37	Prof. Roland Egli	16   20	Dr. Shao Jü Woo
27	Prof. Dr. Andreas Ettemeyer	44	Prof. Dr. Christoph Würsch
28   47	Prof. Dr. Klaus Frick		
11	Benjamin Gort		
15	Prof. Rolf Grun		
32	Prof. Dr. Daniel Gstöhl		
30	Romano Hauser		
42	Prof. Dr. Samuel Huber Lindenberger		
29	Patrick Joos		
43	Dr. Kerstin Kern		
17   21	Prof. Dr. Marco Lehmann		
10   12   39	Simon Nigsch		
25	Nicola Notari		
13   23	Prof. Vincenzo Parisi		
24	Prof. René Pawlitzek		
22	Prof. Guido Piai		
14   36   45	Prof. Dr. Jürgen Prenzler		
34	Dr. Gerhard Rizzo		

# Überblick

## Themen

### Elektronik

- 10 20W Low Cost Hochspannungsresonanzwandler
- 11 EMV-Filterdesign und Charakterisierung von Gleichtakt- und Gegentakt-Störquellen
- 12 Leistungselektronik – SoftSwing® with SiC Semiconductors

### Elektronik, Ingenieurinformatik, Maschinenbau

- 13 Ferngesteuerter Modell-Segway
- 14 Mobile Robotik

### Informations- und Kommunikationssysteme

- 15 Webapplikation zur Einsatzplanung und Geräteverwaltung

### Ingenieurinformatik

- 16 Analyse der Raumentwicklung mit Deep Learning
- 17 Automatisierte Digitalisierung von Handschrift
- 18 Datenpipeline zur Visualisierung von Maschinendaten und Optimierung des Rüstprozesses
- 19 Genauere Orientierungsdaten durch Kamerasystem
- 20 Human-in-the-loop Image-Segmentation
- 21 Industrie 4.0 im Trockeneisgeschäft
- 22 IoT: Aufbau eines kamera-basierten Sensornetzwerks
- 23 KI-basierte Auswahl von Frässtrategien
- 24 Vernetzung von mobilen Beobachtungsstationen
- 25 Yoga AI

### Ingenieurinformatik, Elektronik, Photonik

- 26 Justiersystem für das Ausrichten von Linsen

### Ingenieurinformatik, Informations- und Kommunikationssysteme

- 27 Fotorealistische und Augmented Reality Darstellung von Geodaten

### Ingenieurinformatik, Informations- und Kommunikationssysteme, Computational Engineering

- 28 Aufbau eines ML-basierten Intrusion Detection Systems (IDS)
- 29 Digitaler Zwilling für smarte Trainings- und Rehabilitationsgeräte

### Maschinenbau

- 30 Autonomer elektrischer Hängschwader
- 31 Das süsse Gold des Amazonas – Entwicklung einer Honigtrocknungsanlage
- 32 Effiziente Trinkwasser-Aufbereitung
- 33 Entwicklung einer Isolator-Aufhängung
- 34 Entwicklung eines preiswerten Gas-Brennwert-Wärmeerzeugers
- 35 Innovatives Austragselement für Differentialdosierwaagen
- 36 Mechanischer Timer mit 3D-Druck
- 37 Verlängerung des Auslegers von Spülfahrzeugen

### Maschinenbau, Computational Engineering, Ingenieurinformatik

- 38 Von den Gebrüdern Wright hin zum digitalen Windkanal

### Maschinenbau, Elektronik

- 39 Kalorimeter für Leistungselektronik

#### Maschinenbau, Mikrotechnik

- 40 Beschichtungssystem zur Ermüdungs- und Verschleissminderung von Eisenbahnschienen

#### Mikrotechnik

- 41 Digitaldruck in der mikrotechnischen Fertigung von optischen Systemen
- 42 Einsatz von EAP als amplitudengesteuerter Aktor für Mikrofluidikpumpen
- 43 Medizinische Implantate
- 44 Optimierung einer IR-Quelle für einen photoakustischen CO<sub>2</sub>-Sensor

#### Mikrotechnik, Maschinenbau

- 45 Thermisch aktivierte Klemmung von Halbleiter-Chips beim Lötprozess

#### Photonik

- 46 Full-Arch-Scanner

#### Photonik, Ingenieurinformatik

- 47 Kollisionsdetektion für autonome Baustellenfahrzeuge

# Überblick

## Bachelors, Diplomandinnen und Diplomanden

22	Aebi Lucas	45	Ikonic Dario
27	Alig Raffael Christian	34	Iseni Miran
30	Baumann Julian	29	Kamberi Vedat
42	Bohnenberger Benno	26	Keller Mike
15	Brüscheiler Matthias	13	Knecht Sascha
28	Bättig Moritz	31	Knupp Lucas
39	Bösch David	24	Koch Benjamin
12	Crameri Christian	25	Koller Alex
35	Durisch Yannick	17	Kraft Benjamin
10	Durrer Beda	28	Landolt Christoph
32	Fasolt Fabian	14	Lüchinger Noah
19	Fassl Marco	31	Matzer Luca Nando
11	Forter Christian	44	Meier Marijke
18	Freuler Flavio	16	Meier Michael Azhari
35	Gerber Jasmine	20	Näf Roger
33	Gieriet Romano	46	Roth Marco
33	Giger Marco	12	Saluz Nicola
24	Good Patrick Thomas	13	Schertler Simon
36	Guidon Jonas Sebastian	38	Schlanser Sven
47	Hardegger Daniel	14	Schmitter Silvio
20	Heer Marcel	38	Schneider Florian
23	Helbock Tim Dominik	39	Schwärzler Daniel
13	Ignatyev Alexey	16	Sedighi Khaje Abdol Baset

- 25 Seliner Stephan
- 40 Senn Rahel
- 47 Stadelmann Julian
- 43 Stahel Karin
- 21 Stark Pedro Miguel
- 37 Studer Philipp
- 22 Thür Philipp
- 37 Waibl Alexander
- 46 Walser Patrick
- 14 Zellweger Leonie
- 41 Zimmermann Manuel
- 40 Züst Brian

# 20W Low Cost Hochspannungsresonanzwandler

## Diplomand



Bedä Durrer

**Aufgabenstellung:** Das Unternehmen OekoSolve entwickelt und baut Filter für Holzfeuerungsanlagen. Zur Filterung von Feinstaub wird ein Hochspannungswandler mit einer Spannung von 30 kV DC benötigt. Dabei soll dieser Konverter direkt vom Netz weltweit betrieben werden können.

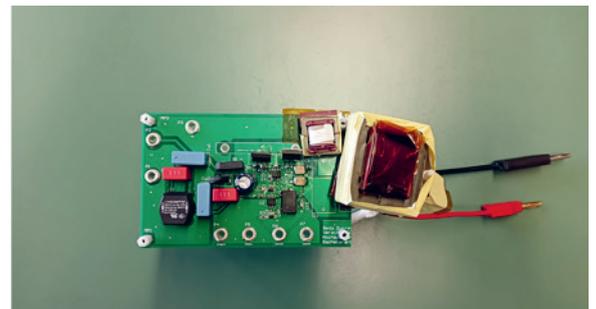
Hierfür wurde in dieser Arbeit ein Hochspannungsresonanzwandler entwickelt, der eine Ausgangsspannung von 2,7 kV AC erreicht. Die nachfolgende Hochspannungskaskade war nicht Teil der Arbeit und wurde von der Firma OekoSolve realisiert. Der Resonanzwandler soll eine Ausgangsleistung von 20 W erreichen und bei 65°C Umgebungstemperatur betrieben werden können. Der Preis für die verwendeten Bauteile bei einer Stückzahl von 1000 sollte 7,5 Dollar nicht überschreiten.

**Vorgehen:** Bereits im Fachmodul wurde die Topologie der Schaltung auf einen Parallelresonanzwandler festgelegt. Das hat den Vorteil, dass die Kapazität der nachgeschalteten Kaskade gut mitberücksichtigt werden kann. Um die Schaltung zu entwickeln, wurde das Verhalten des LC-Kreises berechnet und simuliert. Es wurde ein Prototyp gebaut und getestet. Dabei war die Ausgangsspannung von 2,7 kV eine Herausforderung beim Wickeln des Transformators.

**Ergebnis:** Die Messungen am Prototyp haben gezeigt, dass die meisten Anforderungen erfüllt werden können. Sie ergaben eine Ausgangsspannung von 1 bis 3 kV bei einer Ausgangsleistung von 20 W und einem niederfrequenten Ausgangsspannungsrippel kleiner als 15%. Nicht erfüllt werden konnte die maximale Bauteiltemperatur. Die Spule und der NTC-Widerstand wurden beide 7–10°C zu warm. Die vorliegende Arbeit zeigt dennoch auf, dass die Wandlung von 85–265 VAC zu 2,7 kVAC mit einem Parallelresonanzwandler machbar ist. Weiter zeigt die Arbeit auf, was bei dem Wickeln eines Transformators mit 2,7 kV und 50–200 kHz AC zu beachten ist.

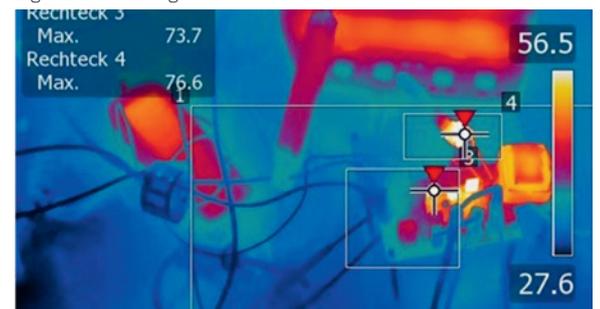
## Bild des Prototyps

Eigene Darstellung



## Wärmebild bei 27 °C Umgebungstemperatur. Daraus sind die beiden Hotspots (NTC-Widerstand und die Spule) zu erkennen.

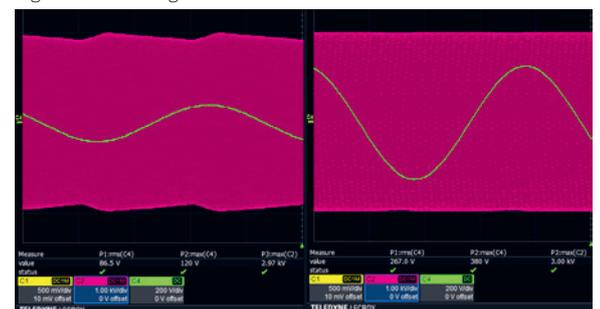
Eigene Darstellung



## Oszilloskopaufnahme

Pink: Ausgangsspannung, grün: Eingangsspannung.  
Links: 85 VAC, rechts: 265 VAC

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Stefan Bertsch

Korreferent  
Simon Nigsch

Themengebiet  
Elektronik

# EMV-Filterdesign und Charakterisierung von Gleichtakt- und Gegentakt-Störquellen

## Leitungsgebundene Störungen

Diplomand



Christian Forter

**Einleitung:** Ein Teilgebiet der EMV sind die leitungsgebundenen Störungen. Es handelt sich dabei um Störquellen, welche durch nichtlineare Prozesse Störenergien im Bereich von ca. 9 kHz bis 30 MHz zurück ins Netz speisen. Diese Energien können zur Beeinflussung anderer Komponenten, zu Verlusten oder gar zur Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen über die Zuleitung führen. Zur Eindämmung der Störeinflüsse werden Längsrosseln und Parallelkondensatoren eingesetzt, welche diese Blindenergien direkt bei der Störquelle speichern und die Rückwirkung auf das Netz unterbinden.

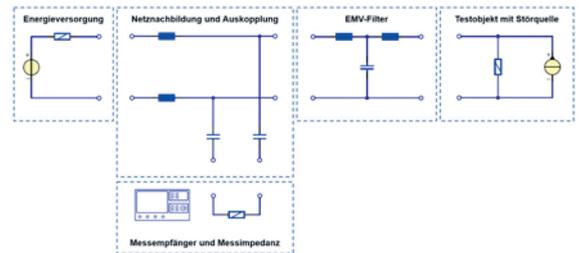
**Problemstellung:** Aktuell werden diese Filterkomponenten aufgrund von Erfahrungswerten und durch «Trial and Error» ausgewählt, bis die Einhaltung der erlaubten Maxima gewährleistet ist. Leider ist dieser Prozess aufwendig und führt oft zu unnötig grossen Komponenten. Abhilfe soll nun geschaffen werden, indem die Quellenkennlinie für jede Frequenz aufgenommen wird und der Filter anhand dieser «Linie» angelegt wird.

**Vorgehen:** Damit diese Parameter erkannt werden können, wird die Impedanz des Messempfängers absichtlich verzerrt und dadurch die Belastung der Quelle verändert. Dies führt zu neuen Messpunkten auf der Quellenkennlinie. Durch eine minimale Anzahl von drei Messungen lassen sich die unbekannt Grössen (Amplitude, Suszeptanz und Konduktanz) für jeden Störmodus abschätzen. Es gilt jedoch, zu erkennen, dass die Messspannung nicht an den Klemmen der Quelle gemessen wird, sondern durch den Auskoppelpfad verfälscht wird. Eine Möglichkeit zur Kompensation ist, die Messwerte mittels

Zweitor-Kettenmatrix auf die gewünschten Werte zurückzutransformieren. In einem nächsten Schritt wird einmalig die Last für jede Filterkombination berechnet. Dabei wird die Netzimpedanz ebenfalls über eine Zweitortransformation einmalig umgerechnet. Anschliessend gilt es, die resultierende Klemmspannung mit den transformierten Maximalspannungen zu vergleichen und so den besten Filter zu finden.

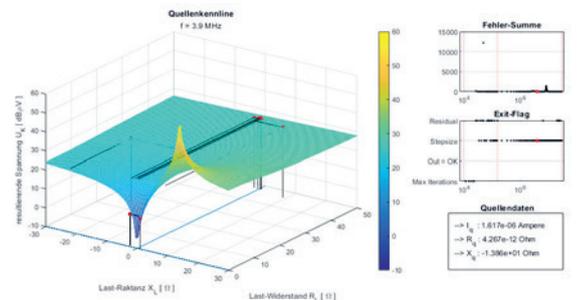
### Prinzipschaltbild des Messaufbaus inklusive Einsatzposition des EMV-Filters

Eigene Darstellung



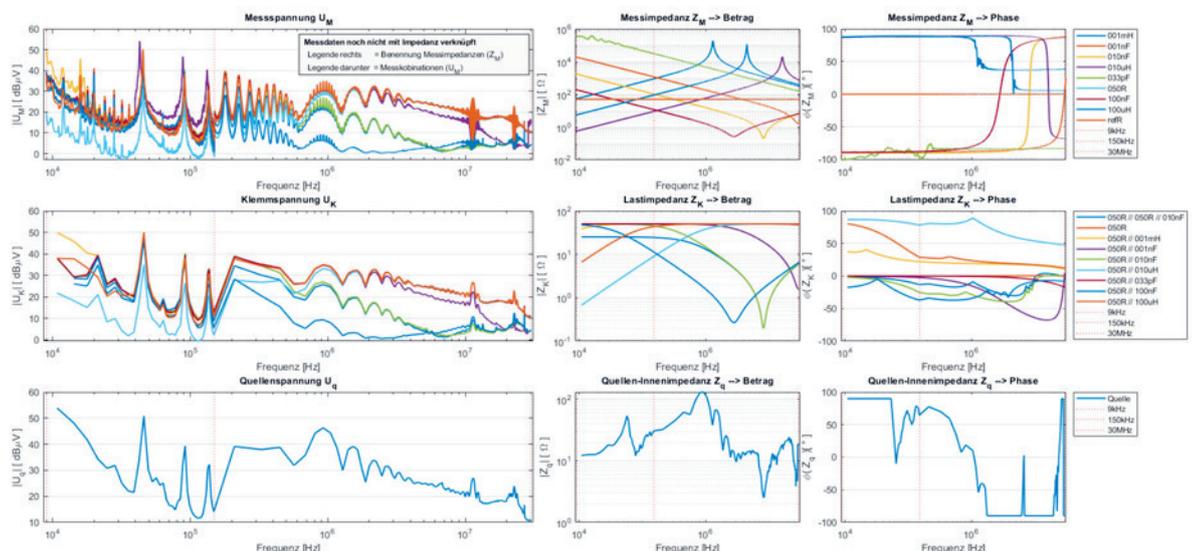
### Quellenkennlinie (f = 3,9 MHz) mit den zugehörigen Messpunkten und Informationen zum Auswerte-Algorithmus

Eigene Darstellung



### Aufarbeitung der Daten und resultierende Messdaten Rohdaten (PMM und Bode 100), zweitorkompensierte Daten und Quellendaten

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Adrian Eugen Weitnauer

Korreferent  
Benjamin Gort

Themengebiet  
Elektronik

# Leistungselektronik – SoftSwing® with SiC Semiconductors

## Diplomanden



Nicola Saluz



Christian Crameri

**Einleitung:** In Kooperation mit der Firma BRUSA HyPower AG soll die Zero-Voltage-Switching-Topologie SoftSwing® auf die Verwendung von Silicon-Carbide(SiC)-Halbleitern ausgeweitet und dessen Funktionalität verifiziert werden. Bisher wurde dieses Konzept für verlustfreies Schalten vor allem bei IGBTs verwendet.

SiC-MOSFETs besitzen gegenüber IGBTs Vorteile wie höhere Sperrspannung, niedrigeren Leitwiderstand und kleinere Ausschaltverluste.

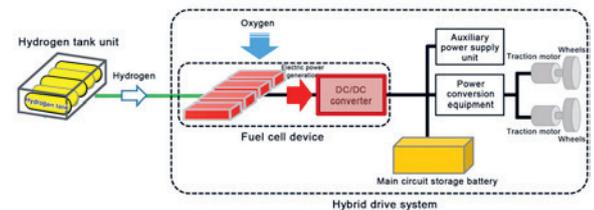
Diese Eigenschaften machen sie attraktiv für die Elektromobilität, in der vor allem bei Brennstoffzellenanwendungen der Bedarf an DCDC-Wandlern mit grossem Ein- und Ausgangsspannungsbereich stark gestiegen ist.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel ist die Entwicklung und Inbetriebnahme eines auf der SoftSwing®-Topologie basierenden DCDC-Wandlers mit spezifizierter Ausgangsspannung von 1000 V und einer Schaltfrequenz von 60 kHz. Am Eingang des Konverters beträgt die Nominalspannung 400 V, wobei die umgesetzte Leistung am Ausgang 18 kW betragen soll. Die Bachelorarbeit beinhaltet den Designprozess, die Verifikation und den Vergleich mit einer hart schaltenden Topologie.

**Ergebnis:** Die spezifizierte Ausgangsleistung von 18 kW wird bei nominalen 400 V am Eingang mit einem Wirkungsgrad von 99% erreicht. Verglichen mit der gleichen Leistungszelle bei hart schaltender Ansteuerung bedeutet das eine Reduzierung der Konverterverluste von 75%. Auch bei Eingangsspannungen von 275 V bis 500 V, wie sie in Brennstoffzellenanwendungen bei Schwerlastwagen üblich sind, kann man eine Verbesserung der Effizienz um etwa 2% beobachten. Ein Weiterentwickeln des SoftSwing®-Designs unter Verwendung von SiC-Halbleitern bringt somit für den Markt an DCDC-Wandler attraktive Vorteile.

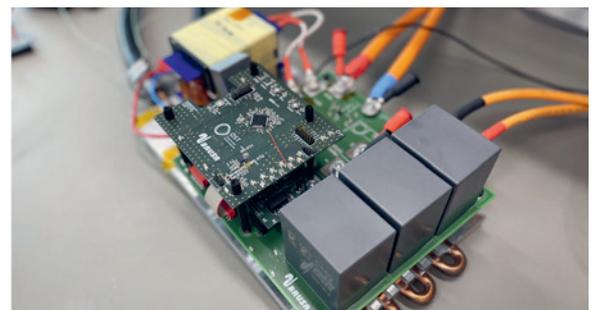
## Einsatzgebiet des DCDC-Wandlers

Quelle: Toyota Motor Corporation, 2020



## Prototypenaufbau

Eigene Darstellung



## Vergleich der Konverterverluste

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Stefan Bertsch

## Korreferent

Simon Nigsch

## Themengebiet

Elektronik

## Projektpartner

BRUSA HyPower AG,  
9470 Buchs, SG

# Ferngesteuerter Modell-Segway

## Modellbildung und Entwicklung eines Modell-Segways für den Regelungstechnikunterricht

### Diplomanden



Alexey Ignatyev



Sascha Knecht



Simon Schertler

**Ausgangslage:** Als anschauliches Projekt für die Modellierung eines dynamischen Systems im Zustandsraum und dessen Zustandsregelung soll im regelungstechnischen Unterricht (Modul EuR\_IV) ein Modell-Segway mittels eines Mikrocontrollers stabilisiert werden. Ferngesteuert über eine App soll der Segway umherfahren können. Zukünftige Studenten sollen das erlernte Fachwissen mithilfe des Modell-Segways in der Praxis anwenden.

Die Hardware mit den notwendigen Sensoren und Aktoren sowie einem Mikrocontroller soll aus möglichst gut verfügbaren und preisgünstigen Komponenten zusammengestellt werden, welche leicht zusammengesetzt werden können, sodass robuste Geräte mit sehr ähnlichem dynamischem Verhalten entstehen. Der komplette Modell-Segway soll nicht mehr als 150 Franken kosten. Ziel ist es, einen Prototyp mit Teilleiste zu konstruieren, den die Studierenden in einer Projektarbeit dann im Unterricht selbst zusammenbauen, dazu ein lineares dynamisches Modell erstellen und eine Regelung entwerfen.

**Vorgehen:** Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde der Modell-Segway mithilfe von Differentialgleichungen modelliert. Anhand des so ermittelten Zustandsraummodells konnten die Anforderungen an die zu verwendende Sensorik sowie den Mikrocontroller abgeschätzt werden. Komponenten für einen ersten Prototyp wurden mithilfe dieser Anforderungen evaluiert.

Die Umsetzung des Prototyps umfasste drei Teilbereiche: die mechanische Konstruktion, das Design eines Prints mit geeigneten elektronischen Schaltungen inklusive Mikrocontrollers und Sensorik sowie die Entwicklung einer Software mit dazugehöriger Smartphone-App zur Regelung und Steuerung des Modell-Segways.

In einem iterativen Vorgehen wurde der Prototyp fortlaufend mechanisch sowie softwaretechnisch angepasst und verbessert. Es wurden mehrere Varianten mit verschiedenen Mikrocontrollern, Motoren sowie Sensoren getestet und evaluiert, um eine möglichst einfache, kostengünstige und doch zuverlässige Lösung zu finden.

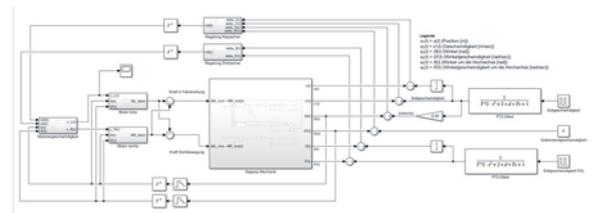
**Ergebnis:** Um der Anforderung an geringe Kosten und Komplexität gerecht zu werden, wurde hauptsächlich auf Standardkomponenten und 3-D-Druck-Technik zurückgegriffen. Das Herzstück des Modell-Segways bildet ein Arduino Nano BLE mit bereits integrierter Sensorik sowie einem Bluetoothmodul. Der Antrieb wurde mithilfe von günstigen Schrittmotoren mit Treibern realisiert. Alle elektronischen Komponenten sowie die Batterien konnten auf einem einzelnen Print untergebracht werden. Beim 3-D-Druck

wurde darauf geachtet, dass nur wenige Teile separat gedruckt werden müssen. Somit ist ein Nachbau für zukünftige Studenten einfach, günstig und schnell möglich.

Das Ergebnis ist ein optimierter und robuster Prototyp mit guten Fahreigenschaften. Dieser kann über die entwickelte App mithilfe eines Smartphones ferngesteuert werden.

### Zustandsraummodell in Simulink

Eigene Darstellung



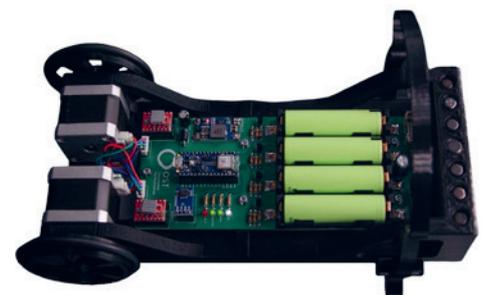
### 3-D-Modell des Fahrgestells im CAD

Eigene Darstellung



### Prototyp Modell-Segway

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Rainer Pickhardt

### Korreferent

Prof. Vincenzo Parisi

### Themengebiet

Elektronik,  
Ingenieurinformatik,  
Maschinenbau

# Mobile Robotik

## Autonomes E-Multi-Use-Trägerfahrzeug

### Diplomanden



Noah Lüchinger



Leonie Zellweger



Silvio Schmitter

### Referent

Prof. Einar Nielsen

### Korreferent

Prof. Dr. Jürgen Prenzler

### Themengebiet

Elektronik,  
Ingenieurinformatik,  
Maschinenbau

### Projektpartner

Durot Electric, 9402  
Mörschwil, SG

**Aufgabenstellung:** In dieser Arbeit befassten wir uns mit der Aufgabe, eine Trägerplattform zu entwickeln, welche sich autonom von Punkt A nach B bewegen kann. Das Fahrzeug soll auf dem Weg Hindernisse erkennen und diesen ausweichen. Die Entwicklung sollte auf der Basis einer vorangegangenen Bachelorarbeit geschehen, welche sich mit der Sensorik für autonomes Fahren befasste.

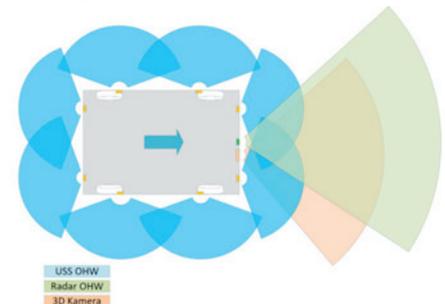
**Vorgehen:** In der Konzeptphase wurden verschiedene Antriebsarten, Antriebe, Sensoren und Elektronikkomponenten angeschaut und evaluiert. Um das Trägerfahrzeug möglichst flexibel über den Asphalt rollen zu lassen, wurde eine Vierradlenkung konstruiert. Sie ermöglicht neben einem Lenkradius von 1,05 m, dass sich das Fahrzeug an Ort und Stelle um die eigene Achse drehen oder sich seitwärts im Hundegang verschieben kann. Die Lenkbewegungen erfolgen über Linearaktuatoren, welche alle einzeln angesteuert werden können. Die vier Räder sind zentral über dem Auflagepunkt gelagert, und die hinteren zwei sind über In-Wheel-Motoren angetrieben. Für die Standortbestimmung des Trägerfahrzeuges wurden zwei GNSS-Module von u-blox montiert. Damit das Trägerfahrzeug ohne zusätzliche Basisstation auskommt, welche immer wieder von Ort zu Ort neu eingerichtet werden müsste, wurde in der Arbeit eine Alternative erarbeitet. Mithilfe von swipos-GIS/GEO wurde über das Internet eine virtuelle Referenzstation aufgebaut. Mit dieser können Korrekturwerte berechnet werden, welche zu einer Wiederholgenauigkeit von unter 5 cm führen. Die Bahnplanung für die autonome Fahrt wurde mit dem Open-Source-Programm Mission Planner umgesetzt. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten wurde mit einem zentralen, leistungsfähigen Steuergerät realisiert, dessen Software in der SPS-Programmierungsumgebung Codesys entwickelt werden konnte. Die Steuerung besitzt zwei unabhängige CAN-Bus-Schnittstellen. So ist zum Beispiel die BOSCH-Sensorik, bestehend aus acht Ultraschall- und einem Radarsensor, getrennt von den vier Lenkaktuatoren ansteuer-, und auswertbar. Des Weiteren konnten mit dem Steuergerät verschiedene Ein-, und Ausgänge geschaltet werden, was die Einbindung und die Ansteuerung von zusätzlichen Systemen, beispielsweise dem Notausschalter, oder die Übermittlung der Winkelgeschwindigkeiten beider Antriebsmotoren an eine weitere CAN-Schnittstelle ermöglichte. Das war insofern entscheidend, als die Lenkmotoren, die BOSCH-Sensorik sowie die Antriebsmotoren verschiedene CAN-Bus-Protokolle zur seriellen Datenübertragung verlangen.

**Fazit:** Die implementierte Software ermöglicht autonomes Fahren sowie die Steuerung mittels einer

Fernsteuerung. Es kann zwischen vier verschiedenen Fahrmodi unterschieden werden. Die drei manuellen Modi sind in der mittleren Darstellung abgebildet. Der vierte Modus ist der automatische Modus. Bei diesem fährt das Fahrzeug eine vorgegebene Route ab und weicht einem Hindernis aus, das erkannt wird. Sehr beeindruckend waren die Wiederholgenauigkeit einer vorgegebenen Strecke und die präzisen Fahrbewegungen der Lenkung und des Antriebs. Das in dieser Arbeit entstandene Fahrzeug konnte sowohl die mechanischen als auch die elektronischen und softwaretechnischen Anforderungen erfüllen und kann somit als autonomes E-Multi-Use-Trägerfahrzeug eingesetzt werden.

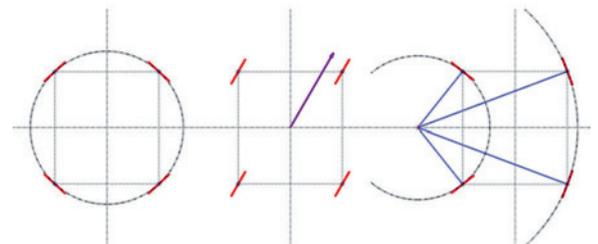
### Konzept Sensorik: Ultraschallsensoren, Radarsensor, 3-D-Kamera

Eigene Darstellung



### Fahrmodi: um eigene Achse, Hundegang, Kurvenfahren

Eigene Darstellung



### Endprodukt: Autonome Trägerplattform, 1200x800x308 mm, 99 kg

Eigene Darstellung



# Webapplikation zur Einsatzplanung und Geräteverwaltung

## Diplomand



Matthias Brüscheweiler

**Ausgangslage:** Im Sommer 2021 wurden die Gemeinden Hefenhofen und Sommeri von den starken Regenfällen getroffen. Die Feuerwehr der beiden Gemeinden stand im Dauereinsatz und musste viele Ereignisse auf einmal bewältigen.

Die kantonale Notrufzentrale konnte die vielen Alarmmeldungen, welche eingingen, nicht bewältigen, und so wurde im Depot eine Einsatzzentrale gebildet, welche die Meldungen aus den Gemeinden entgegennahm. Um den Überblick über diese Ereignisse zu behalten, wurden die Einsätze in eine Liste eingetragen. Anhand dieser Liste wurde eine Triage gemacht, indem ein Offizier auf den Schadenplatz ging und sich die Situation vor Ort anschaute. Dieser Offizier musste seine Erkenntnisse danach an die Einsatzzentrale zurückmelden und beurteilen, ob der Einsatz dringend ist oder hintenangestellt werden kann und welches Material benötigt wird.

**Problemstellung:** Das Gesamtproblem lässt sich in zwei Teilprobleme unterteilen:

- Nur wenige bestehende Lösungen sind auf dem Markt.
- Die Lösung muss von überall aus zugänglich sein.

Das Problem, kann gelöst werden, indem eine der Lösungen genommen wird, die auf dem Markt sind, aber mehrheitlich auf grössere Feuerwehren zugeschnitten sind. Um das zweite Teilproblem zu lösen, liegt es nahe, eine Webapplikation zum Einsatz zu bringen.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel der Arbeit ist es, eine Webapplikation zu schreiben, mit welcher bei grösseren

Einsätzen das Material verwaltet und geplant werden kann, welches Material an welcher Stelle eingesetzt werden muss.

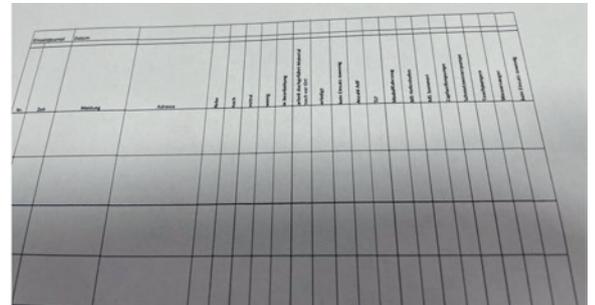
## Feuerwehr Hefenhofen-Sommeri

Quelle: Feuerwehr Hefenhofen-Sommeri



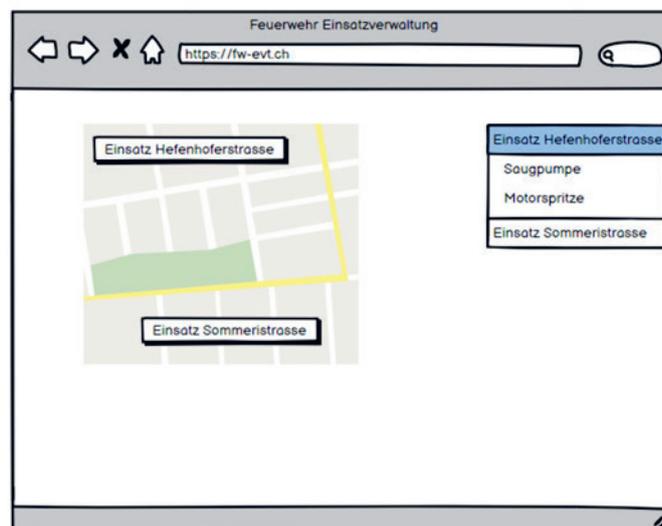
## Aktuelle Lösung

Eigene Darstellung



## Mock-up einer möglichen Lösung

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Vincenzo Parisi

## Korreferent

Prof. Rolf Grun

## Themengebiet

Informations- und Kommunikationssysteme

## Projektpartner

Feuerwehr Hefenhofen-Sommeri, Hefenhofen, TG

# Analyse der Raumentwicklung mit Deep Learning

## Diplomanden



Khaje Abdol Baset Sedighi



Michael Azhari Meier

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, ein Deep-Learning-Modell zu trainieren, das in der Lage ist, Gebäude aus Luftbildern zu segmentieren. Anschliessend wird dieses Modell genutzt, um Luftbilder aus verschiedenen Jahren zu vergleichen und Veränderungen zu erkennen. Die Ergebnisse werden weiterverarbeitet, um Veränderungen über die Zeit zu visualisieren.

Die Daten wurden mit Genehmigung der Gemeinden von der Firma GEOINFO AG in Herisau zur Verfügung gestellt.

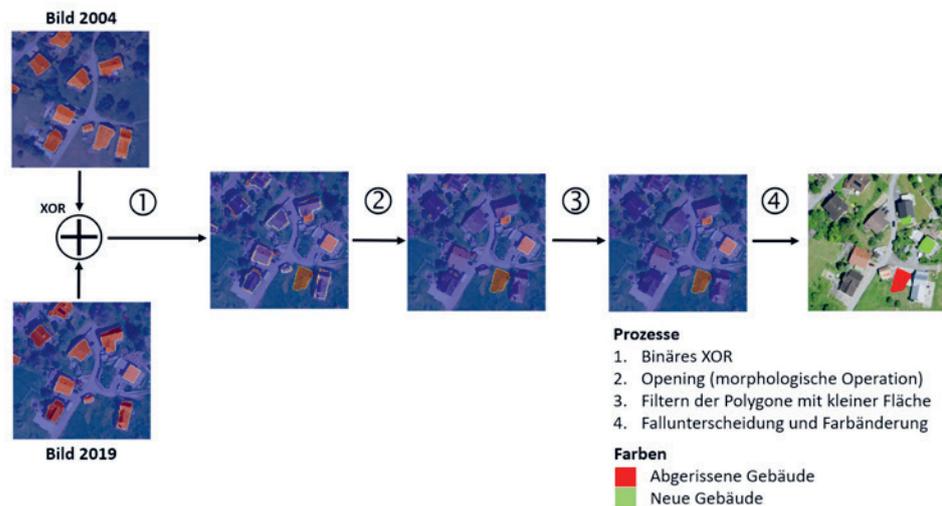
**Vorgehen:** Der erste Schritt umfasste die Analyse der Daten, und es wurde festgestellt, dass einige Schritte der Datenvorverarbeitung erforderlich waren, bevor mit dem Training des Deep-Learning-Modells begonnen werden konnte. Die Datenvorverarbeitung umfasste die Erstellung der Maske aus der Bodenbedeckung, die Aufteilung der Bilder in kleine Stapel, die Überprüfung auf Gemeindegrenzen und die Anpassung von Helligkeit, Kontrast und Qualität der Stapel.

Anschliessend wurde ein U-Net-Modell trainiert und wurden die Hyperparameter optimiert. Die Ergebnisse wurden qualitativ und quantitativ evaluiert.

**Ergebnis:** Für das neuronale Netz wurde die U-Net-Architektur gewählt, welche ursprünglich für die Segmentierung biomedizinischer Bilder entwickelt wurde. Es hat sich gezeigt, dass sich diese Architektur auch für die Segmentierung von Luftbildern gut eignet. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass einfache Nachbearbeitungsoperationen wie binäres XOR, morphologische Operationen und Filter verwendet

### Nachbearbeitungsprozess für die Erstellung der Differenzmaske

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Marco Lehmann

Korreferent  
Dr. Shao Jü Woo

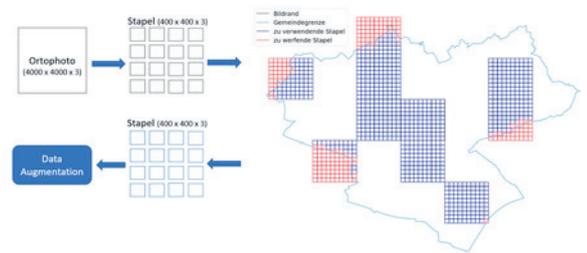
Themengebiet  
Ingenieurinformatik

werden können, um Bilder desselben Abschnitts auf zeitliche Veränderungen zu untersuchen.

Mit dieser Arbeit wird Raumplanern ein Werkzeug bereitgestellt, mit welchem sie aus bereits vorhandenen Daten neue Indikatoren für die Raumentwicklung ableiten können.

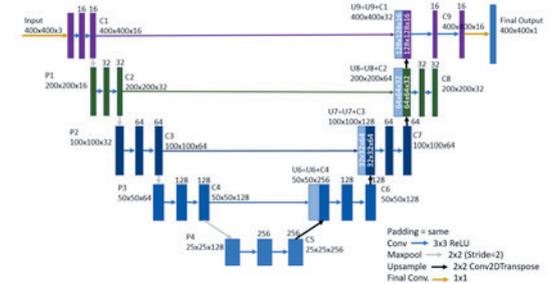
### Datenvorverarbeitungsprozess

Eigene Darstellung



### Die verwendete U-Net-Architektur

Eigene Darstellung



# Automatisierte Digitalisierung von Handschrift

Diplomand



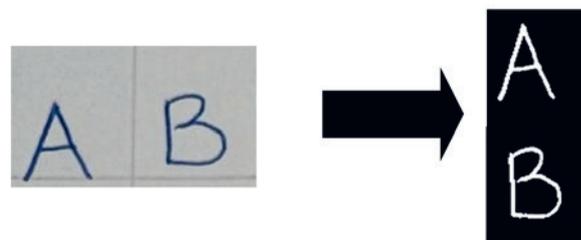
Benjamin Kraft

**Einleitung:** Beim Nähen und Sticken ist viel Kreativität gefragt, und oft will die eigene Anfertigung möglichst individuell gestaltet werden. Das vorgestellte Konzept bietet dem Benutzer eine weitere Möglichkeit, seine Kreativität zu steigern. Diese Arbeit bildet eine Grundlage für die Digitalisierung der eigenen Handschrift unter der Nutzung einer Nähmaschine mit eingebauter Kamera oder mit einer externen Applikation und einem bildaufnahmefähigen Gerät wie einem Smartphone oder einem Scanner. Das Ziel ist es, die Handschrift möglichst originalgetreu in einen digitalen Font umzuwandeln, der von der Nähmaschine interpretiert werden kann.

**Vorgehen:** Ein wesentlicher Bestandteil ist die Entwicklung einer geeigneten Vorlage, mit der die Handschrift erfasst und in ein digitales Format konvertiert werden kann. Als Eingabe verwendet die Software eine Bildaufnahme dieser Vorlage, um die darin enthaltenen Schriftzeichen zu digitalisieren. Der Umwandlungsprozess einer Bitmap in eine digitale Fontdatei kann generell in vier Teilprozesse aufgeteilt werden. Zuerst wird die Rastergrafik eingelesen, und die handschriftlichen Buchstaben und Zeichen werden isoliert. Die Lettern der Handschrift liegen danach als binarisiertes Einzelbild vor. Diese werden im Anschluss entsprechend nachbearbeitet und vektorisiert. Das Resultat ist eine skalierbare Grafik für jedes Schriftzeichen. Nachdem der Stichprozessor die jeweiligen Nadeleinstiche berechnet, werden die Buchstaben in einer Fontdatei abgelegt, die anschliessend von einer kompatiblen Nähmaschine geladen werden kann.

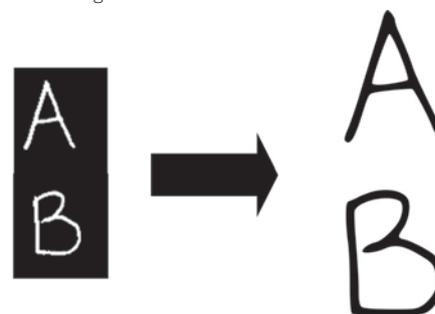
## Binarisierung der Handschrift

Eigene Darstellung



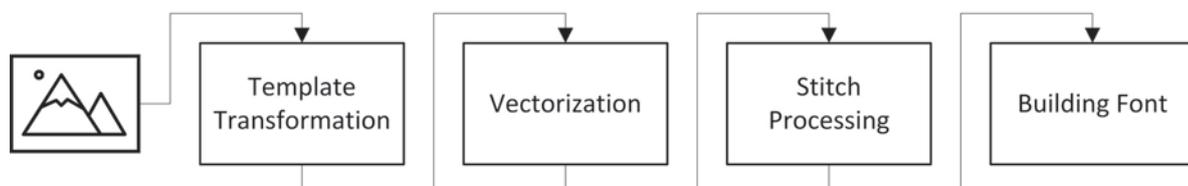
## Vektorisierung

Eigene Darstellung



## Transformationspipeline

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Vincenzo Parisi

Korreferent

Prof. Dr. Marco  
Lehmann

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Datenpipeline zur Visualisierung von Maschinendaten und Optimierung des Rüstprozesses

Diplomand



Flavio Freuler

**Einleitung:** Das ganze Konzept der Industrie 4.0 fusst auf der Vernetzung von Maschinen und Systemen sowie dem Glauben und dem Vertrauen in die Daten, die dabei generiert werden. Damit ein Unternehmen mittels Daten geschäftsrelevante Frage beantworten kann, müssen die Daten aus der Produktion sinnvoll verwaltet und verfügbar gemacht werden. Diese Herausforderung war Gegenstand der vorliegenden Bachelorarbeit.

**Vorgehen:** Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Datenpipeline aufgebaut, welche die Daten von CNC-Maschinen über OPC UA ausliest, diese in eine Datenbank schreibt und die gespeicherten Daten anschliessend visualisiert. In einem weiteren Schritt wurde ein System zur Werkzeugverwaltung und Optimierung des Maschinenrüstprozesses aufgebaut.

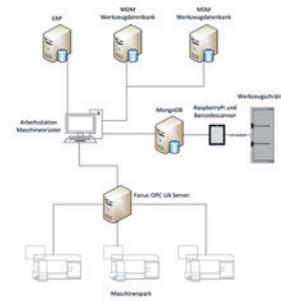
Die Datenpipeline soll es erlauben, die Maschinendaten eines gewissen Zeitraums einzusehen und daraus wichtige Einblicke zu gewinnen. Zum Beispiel können dadurch Temperaturkompensationsprozesse überwacht und optimiert werden. Um dies zu ermöglichen, braucht das System grundsätzlich vier Komponenten: einen OPC-UA-Server, der die Daten zur Verfügung stellt, einen Client, der die Daten ausliest, eine Datenbank, in der die Daten abgespeichert werden können, und eine Plattform, um die Daten einzusehen und zu visualisieren. Der Client wurde als Java-Applikation implementiert, welche zuerst eine gesicherte Verbindung zum Server aufbaut, die Daten anschliessend ausliest und sie in der Datenbank abspeichert. Welche Daten ausgelesen werden können, wird über ein Konfigurationsfile definiert. Bei der Datenbank handelt es sich um die NO-SQL-Datenbanklösung MongoDB, und die Einsicht der Daten erfolgt über PowerBI. Da der Server die gewünschten Daten nicht zugreifbar machte und eine andere Lösung (beispielsweise Retrofitting) zusätzliche Kosten nach sich gezogen hätte, wurde dieses Projekt ausschliesslich mit simulierten Daten realisiert.

Das System zur Werkzeugverwaltung und Optimierung des Maschinenrüstprozesses soll die Standzeiten der CNC-Maschinen reduzieren. Diese Optimierung basiert auf einer Effizienzsteigerung im unorganisierten Rüstprozess. Dieser Ablauf soll durch einen Rüstplan unterstützt und geführt werden. Dieser Plan enthält alle zu rüstenden Werkzeuge sowie ihren aktuellen Lagerort und die Maschine, bei der sie gebraucht werden. Um diesen Plan zu generieren, wurde eine Java-Applikation entwickelt, welche alle benötigten Daten aus verschiedenen Datenbanken lädt, sie aggregiert und daraus ein PDF und ein CSV-Dokument generiert. Dabei kann konfiguriert werden, von wo welche Daten abgerufen werden

sollen. Für die Verwaltung der Werkzeuge wurde eine Python-Applikation auf einen RaspberryPi implementiert, an den ein Barcodescanner angeschlossen ist. Mit diesem Scanner können die Werkzeugnummern gescannt werden, welche dann anschliessend in eine Datenbank geschrieben werden. Somit wird der Werkzeugbestand in den Werkzeugschränken durch die Datenbank abgebildet, und diese Daten können dann von der Java-Applikation für die Generierung des Rüstplans abgegriffen werden.

## Systemübersicht für die Optimierung des Maschinenrüstprozesses

Eigene Darstellung



## Ausschnitt eines Beispielrüstplanes

Eigene Darstellung

### Werkzeug-Rüstplan vom: 2022-07-20

T Nummer	Bezeichnung	Lagerort	Tablar	Maschine
T03621	HM-Fräser D16 Z4 schrump Stahl	Werkzeugschrank 1	Tablar 1	3100
T02580	HM Bohrer D4.5 IK / 5xD	Werkzeugschrank 1	Tablar 2	3100
T03485	HM-Eckradiusfräser D-8.0 R0.5	Werkzeugschrank 2	Tablar 4	3100
T03321	Viertelkreisfräser D-8.0 R3.7	Not found	-	3100
T02565	HSS-NC-Anbohrer D6	Werkzeugschrank 1	-	3100

Für die Artikelnummer 716962 wurde keine Werkzeugliste gefunden

## Ausschnitt der XML-Konfigurationsdatei für die OPC-UA-Datenlogger-Applikation

Eigene Darstellung

```
<cnc_machine> <!--cnc_machine sind Kinder-Elemente-->
  <id>2486</id> <!-- ID der Maschine -->
  <nodes>
    <!--Nodes definieren, welche Knoten der Maschine ausgelesen werden sollen-->
    <name>Rohds Maschine 2486</name> <!-- Unter diesem Namen wird Burt in DB abgespeichert
    <namespace>2</namespace> <!-- Namespace des Knotens (Integer) -->
    <id>2486.NODE</id> <!-- ID der Maschine (Integer / String) -->
    <datatype>String</datatype> <!-- Datentyp des Wertes des Knotens -->
    <samplingInterval>30000</samplingInterval> <!-- Intervall für Abfragen des Knotens in
  </node>
  <name>Stueckzaehler Maschine 2486</name>
  <namespace>2</namespace>
  <id>2486.STUECKZAHLER</id>
  <datatype>Integer</datatype>
  <samplingInterval>30000</samplingInterval>
</node>
</cnc_machine>
```

Referent

Prof. René Pawlitzek

Korreferent

Prof. Dr. Carlo Bach

Themengebiet

Ingenieurinformatik

Projektpartner

PWB AG, Altstätten, SG

# Genauere Orientierungsdaten durch Kamerasystem

## Diplomand



Marco Fassl

**Ziel der Arbeit:** Safran Vectronix AG fertigt sowohl handgehaltene als auch stationäre Mess- und Beobachtungsmittel für den militärischen Einsatz. Diese können je nach Gerät die eigene Position ermitteln, Ziele bestimmen und Distanzen oder entlegene Positionen in Erfahrung bringen. Zum jetzigen Zeitpunkt werden viele dieser Methoden mittels Laser und Magnetfeldsensoren durchgeführt. Insbesondere die Magnetfeldsensoren sind jedoch sehr störanfällig. Vectronix will nun mithilfe einer inertialen Messeinheit (IMU), einer Kombination aus Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren und einem digitalen Magnetkompass (DMC) ein neues Modul entwickeln, welches unabhängig vom Magnetfeld die Ausrichtung des Gerätes beibehalten kann. Für dieses neue Modul soll eine Demonstratorapplikation geschrieben werden, welche die Funktion aufzeigen kann und zusätzlich mithilfe einer Kamera Verbesserungen erzielen soll. Anschliessend soll mit diversen Tests eine provisorische Qualifizierung durchgeführt werden.

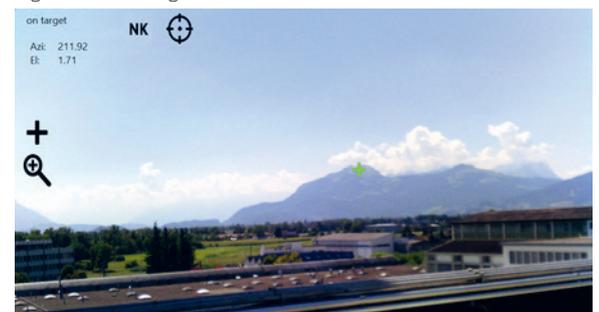
**Vorgehen:** Um die IMU überhaupt verwenden zu können, muss diese erst initialisiert und die zur Nordrichtung relative Ausrichtung von der Applikation über die serielle Schnittstelle an den Northkeeper gesendet werden. Aufgrund dessen wird als Erstes eine Nordfindung durchgeführt. Die Applikation kann drei verschiedene Methoden zur Nordfindung einsetzen. Einmal kann auf den im Modul vorhandenen Kompass zugegriffen werden, um mit dem Magnetfeld der Erde Norden in Erfahrung zu bringen. Als zweite Methode kann der Benutzer einen bekannten Orientierungspunkt anzielen, damit mit der eigenen Position und den Koordinaten des Landmarks die Ausrichtung zu Norden berechnet werden kann. Des Weiteren kann auch mit der Sonne die Nordfindung ausgeführt werden. Dafür werden die aktuelle Zeit und ebenfalls die eigene Position benötigt. Die aus der Nordfindung abgeleiteten Daten werden an die IMU gesendet, welche daraufhin beginnt, die Ausrichtung des Gerätes beizubehalten. In der Applikation kann nun eine Markierung auf ein Objekt gesetzt werden. Diese Markierung wird dann dank den Daten, die fortlaufend vom Modul an die Applikation gesendet werden, auf dem Objekt gehalten, auch wenn der Demonstrator bewegt wird. Die Kamera wird ebenfalls dazu genutzt, markante Stellen zu speichern und später wiederzuerkennen. Dies soll mögliche Abweichungen minimieren.

**Ergebnis:** Mit verschiedenen Tests wurden sowohl die Nordfindung als auch die Funktion des Moduls überprüft. Es fällt auf, dass besonders das gewählte Kameramodul eine Schwäche darstellt. Aufgrund des grossen Öffnungswinkels der Kamera fällt eine

präzise Ausrichtung schwer. Dafür wird eine Bildverarbeitung in einem erhöhten Sichtbereich ermöglicht. Bei Produkten von Safran Vectronix werden Optiken verwendet, welche einen viel kleineren Öffnungswinkel haben. Dies führt zu einer wesentlich besseren Genauigkeit. Der Nutzen der Bildverarbeitung ist aktuell gering. Da es sich noch um eine Vorstufe für das finale Produkt handelt, können zwar die Funktionen gezeigt und Schlüsse gezogen werden, jedoch muss die Methodik für das Endprodukt verbessert werden.

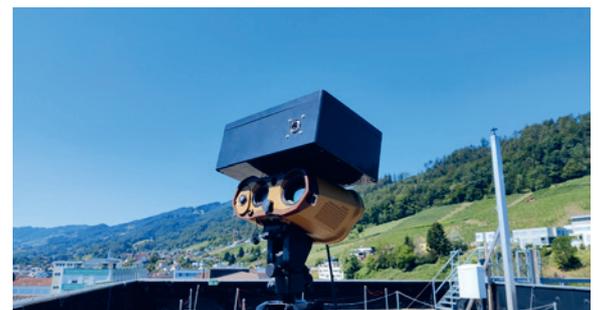
## GUI

Eigene Darstellung



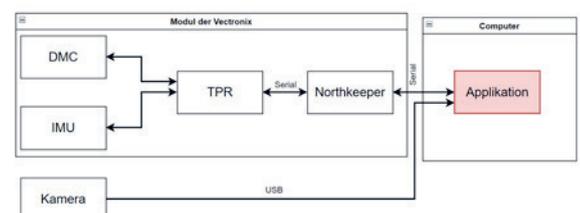
## Demonstrator

Eigene Darstellung



## Übersicht

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Dr. Urs Graf

## Korreferent

Prof. Dr. Carlo Bach

## Themengebiet

Ingenieurinformatik

## Projektpartner

Safran Vectronix AG,  
Heerbrugg, SG

# Human-in-the-loop-Image-Segmentation

## Entwicklung eines Systems zur AI-unterstützten Bildsegmentierung

### Diplomanden



Marcel Heer



Roger Näf

**Problemstellung:** Die Image-Segmentation ist eines der Schlüsselprobleme auf dem Gebiet der Computervision. Durch das Aufteilen eines Bildes in Segmente (Teilbereiche) kann der Weg zum vollständigen Verständnis des Bildinhalts geebnet werden. Die Bedeutung dieses Problems wird durch die Tatsache unterstrichen, dass eine wachsende Zahl von Anwendungen durch die Ableitung von Wissen aus Bildern lebt. Einige dieser Anwendungen umfassen autonome Fahrzeuge, Augmented Reality oder Gesichtserkennung.

Heutzutage werden die besten Ergebnisse mit künstlichen neuronalen Netzwerken erreicht. Für das Trainieren dieser Netze werden jedoch grosse Datenmengen benötigt, welche in spezialisierten Nischenanwendungen meist nicht vorhanden sind.

**Vorgehen:** Es wird der Human-in-the-loop-Ansatz verfolgt, welcher die Verwendung von neuronalen Netzwerken mit einer manuellen Nachbearbeitung kombiniert. Dabei soll der Mensch die Segmentierung des neuronalen Netzwerks überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Die überarbeitete Segmentierung wird in einem weiteren Schritt verwendet, um das neuronale Netzwerk zu verbessern. Somit lernt das System durch die Benutzung automatisch weiter und kann sich dynamisch der Anwendung anpassen. Durch diesen Ansatz wird eine Effizienzsteigerung in Anwendungen ermöglicht, wo aufgrund der zu tiefen Qualität eine reine AI-Lösung nicht infrage kommt.

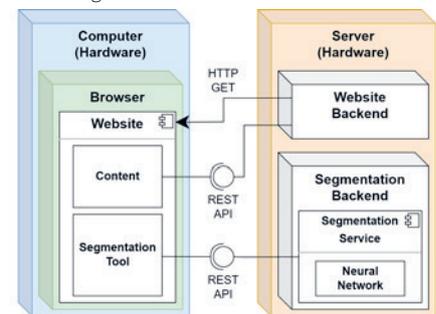
**Ergebnis:** Das Resultat dieser Bachelorarbeit ist ein System zur AI-unterstützten Bildsegmentierung, welches sich leicht in eine bestehende Infrastruktur integrieren lässt. Dabei wurde der Anwendungsfall gene-

ralisiert, was beispielsweise eine Segmentierung von Katzenbildern oder Gebäudeplänen erlaubt.

Das System besteht aus einem Web-Frontend und einem Backend mit neuronalem Netzwerk. Im Frontend bearbeitet der Benutzer die KI-basierte Segmentierung. Das Backend kümmert sich um die Verwaltung und das Training des neuronalen Netzwerkes.

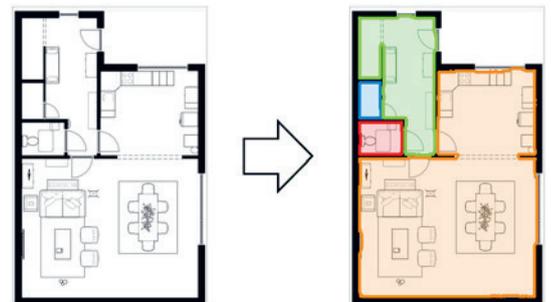
### Deployment-Diagramm des Systems

Eigene Darstellung



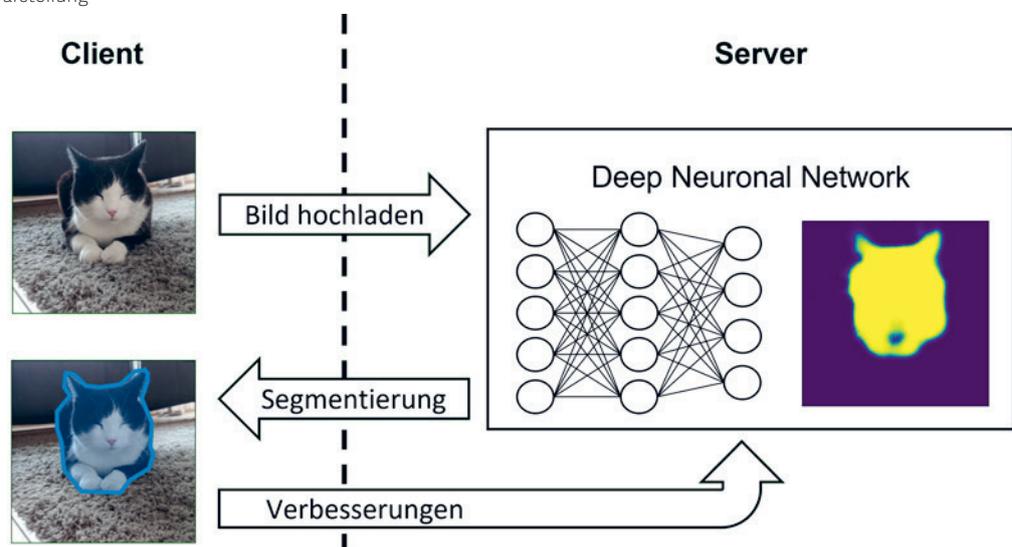
### Segmentierung eines Gebäudeplans

Eigene Darstellung



### Übersicht Human-in-the-loop-Ansatz

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Marco  
Lehmann

Korreferent  
Dr. Shao Jü Woo

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Industrie 4.0 im Trockeneisgeschäft

## Erstellung einer Cloud-Lösung für die Bereitstellung von Maschinendaten in einer Webapplikation

### Diplomand



Pedro Miguel Stark

**Ausgangslage:** Das Verlangen, in jedem Lebensbereich Daten zu sammeln, steigt immer mehr. Daten gelten als das Gold des 21. Jahrhunderts. Aufgrund dieser Tatsache hat sich die ASCO Kohlensäure AG vorgenommen, ihre Trockeneisproduktionsmaschinen standardmässig mit Gateways auszurüsten, um eine internetbasierte Kommunikation zu ermöglichen. Das Maschinengateway bezieht zyklisch Maschinendaten von der Maschinensteuerung (SPS) und übermittle diese im JSON-Format über eine gesicherte MQTT-Verbindung an einen MQTT-Broker (IoT-Hub).

**Aufgabenstellung:** Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde mittels Microsofts Azure Cloud ein System aufgebaut, welches Maschinendaten vom MQTT-Broker empfangen, verarbeiten, speichern und über einen Webclient zur Verfügung stellen kann. Treffen neue JSON-Dokumente im IoT-Hub ein, wird ein in C# implementierter serverloser Service (Azure Function) getriggert, welcher die Maschinendaten verarbeitet und anschliessend in einer für Zeitreihendaten ausgelegte Datenbank (Azure CosmosDB) speichert. Um aus den gespeicherten Maschinendaten einen Mehrwert generieren zu können, wurde über Azures App-Service ein vollumfänglicher Webserver erstellt, welcher über eine öffentliche Domäne erreichbar ist. Dieser Webserver stellt Kunden von ASCO einerseits ein Dashboard zur Verfügung, welches Daten aller für den User freigeschalteten Maschinen in aggregierter Form darstellt. Andererseits können Daten spezifisch für jede Maschine dargestellt werden. Um Zugriff auf Maschinendaten und Routen der Website zu beschränken, wurde eine rollen- und eine attributbasierte Zugriffskontrolle implementiert. Für die Implementation von server- und clientseitigem Code wurden die Frameworks Next.js und React.js verwendet. Für das Styling der Komponenten wurde das CSS-Framework Tailwind verwendet, welches sich für den komponentenbasierten Ansatz von React.js bestens eignet.

**Fazit:** Zwar konnte der Aufwand für den Aufbau eines solchen Systems durch den Einsatz passender Cloud-Services minimiert werden, jedoch musste trotzdem ein breites Spektrum von Kompetenzen abgedeckt werden. Durch den Einsatz modernster Web-Frameworks und skalierbarer Cloud-Services konnte mit dieser Bachelorarbeit der Grundbaustein für eine sichere und ausbaufähige, datenorientierte Webapplikation gelegt werden.

### Referent

Prof. René Pawlitzek

### Korreferent

Prof. Dr. Marco Lehmann

### Themengebiet

Ingenieurinformatik

### Projektpartner

ASCO Kohlensäure AG,  
8590 Romanshorn, TG

### Maschinenspezifische Seite (Desktopansicht)

Eigene Darstellung



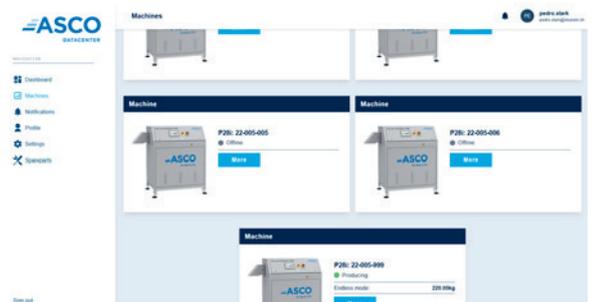
### Maschinenübersichtsseite (Mobilansicht)

Eigene Darstellung



### Maschinenübersichtsseite (Desktopansicht)

Eigene Darstellung



# IoT: Aufbau eines kamerabasierten Sensornetzwerks

## Diplomanden



Lucas Aebi



Philipp Thür

**Einleitung:** Unter IoT, dem Internet der Dinge, versteht man die Vernetzung von autonom arbeitenden Geräten über das Internet. Diese Geräte sind meist sehr klein und unscheinbar, doch steht oft eine umfassende Infrastruktur hinter jedem davon. Drahtlose Kommunikation, Over-the-Air-Softwareupdates, das Sammeln von Telemetriedaten, Interoperabilität von Systemen und das Bereitstellen und Verwalten von Tausenden Geräten sind nur einige der Herausforderungen, die solche IoT-Lösungen mit sich bringen.

**Ziel der Arbeit:** Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines solchen Systems im Auftrag der Firma Adlos AG. Das System nimmt regelmässig Bilder über autonome Geräte auf, welche per Mobilfunk mit der Cloud vernetzt sind, und bietet über eine Schnittstelle Zugang zu den Aufnahmen.

Diese Arbeit betrachtet theoretische Hintergründe sowie wichtige Konzepte und Komponenten aus der IoT-Welt und diskutiert Lösungen zu den zuvor genannten Herausforderungen. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, wird die Umsetzung der IoT-Lösung erläutert.

**Ergebnis:** Das Ergebnis ist ein funktionsfähiges IoT-System, welches die periodische Aufnahme von Fotos über mehrere Geräte ermöglicht. Das System erlaubt Zugriff auf gesammelte Daten und die Konfiguration der Geräte über eine REST API sowie über eine darauf aufbauende Webanwendung. Die Umsetzung nutzt moderne Technologien, implementiert etablierte Standards und befriedigt aktuelle Sicherheitsanforderungen.

## Entwickelte Webanwendung

Eigene Darstellung

The screenshot shows a web application interface for IoT device management. On the left, there is a 'Devices' list with details for 'MyJSDevice' (Raspberry Pi 4) and 'c6f60fb' (Raspberry Pi Zero). The main area displays a list of images captured by the device 'c6f60fb', including timestamps and file names like 'c6f60fb-1660495424569.jpeg'. On the right, a preview of a photo is shown with a 'Stop comparing' button and a URL to view the image.

Referent  
Prof. René Pawlitzek

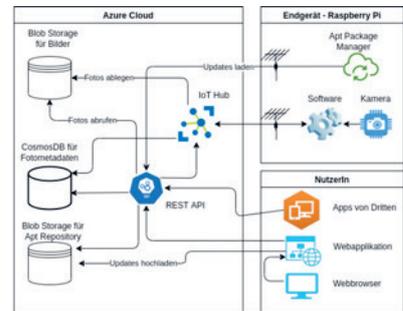
Korreferent  
Prof. Guido Piai

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

Projektpartner  
Adlos AG,  
9496 Balzers, FL

## Konzept des IoT-Systems

Eigene Darstellung



## Hardwareaufbau des Endgeräts

Eigene Darstellung



# KI-basierte Auswahl von Frässtrategien

Diplomand



Tim Dominik Helbock

**Ausgangslage:** Für die Programmierung von CNC-Bauteilen verwendet die Firma ALPLA das Cimatron-CAD/CAM-System. Bereits in der Vergangenheit wurde ein eigenes Plug-in für Cimatron entwickelt, welches dem Anwender die Programmierung mittels vorgefertigter Frässtrategien erleichtert.

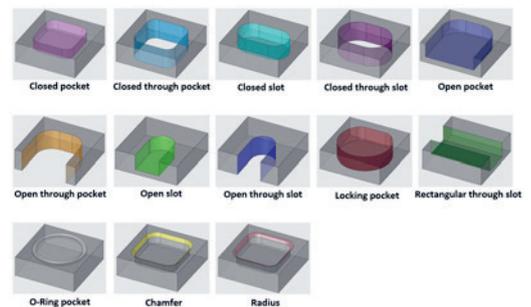
Da für die Herstellung von Features wie Nuten, Taschen und anderen Geometrien mehrere Frässtrategien gesucht und händisch ausgewählt werden müssen, sollte dieser Vorgang verbessert werden. Im ersten Schritt sollte das bestehende Plug-in erweitert werden, sodass ein Feature in Form von mehreren Frässtrategien definiert werden kann. Das finale Ziel war die automatische Erkennung dieser Features an den Bauteilen, sodass die dazugehörigen Frässtrategien direkt ausgewählt werden.

**Vorgehen/Technologien:** Für die Erkennung der Features wurde ein neuronales Netzwerk verwendet. Da die Features aus bestehenden Datensätzen teilweise nicht jenen der Bauteile der Firma ALPLA entsprachen, wurde ein eigener Datensatz erzeugt. Aus einer Auswahl von 13 Features wurden automatisiert über 20 000 CAD-Files erzeugt, jedes davon kann mehrere Features beinhalten (Abbildungen 1 und 2).  
**Fazit:** Bereits nach wenigen Trainingsschritten konvergierte der «Loss» auf den Trainingsdaten gegen den Wert 0 (Abbildung 3). Bei den Testdaten konnten nahezu 100% der Features erkannt werden.

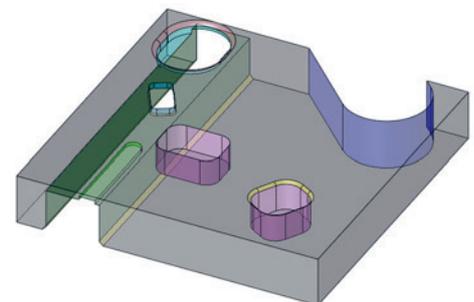
Da die Vielfalt in realen Bauteilen aber deutlich mehr abdeckt als 13 Features und dadurch neue Situationen entstehen, waren die Vorhersagen darauf nicht immer präzise. Aufgrund der schnellen Lernfä-

higkeit des neuronalen Netzwerks wird der Datensatz zukünftig mit mehr Features erweitert. Dadurch sollte die Feature-Erkennung auf realen Bauteilen wesentlich verbessert werden.

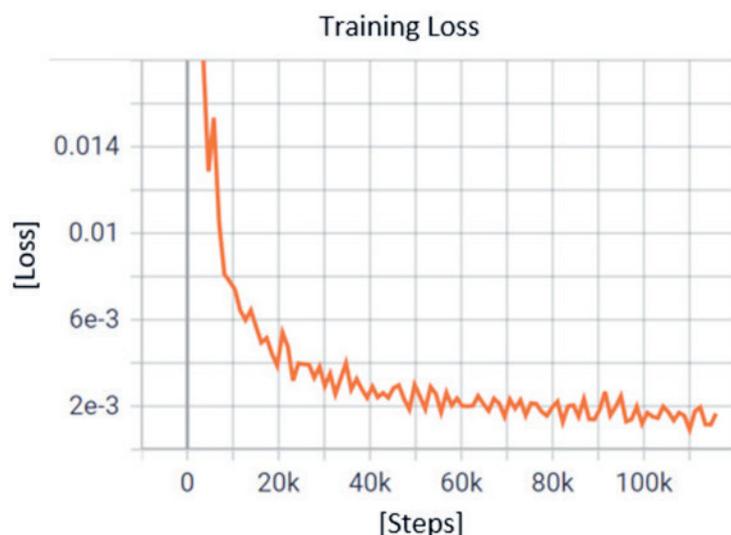
**Abbildung 1: 13 verschiedene Feature-Typen aus dem Datensatz**  
Eigene Darstellung



**Abbildung 2: Automatisiert generiertes Bauteil mit mehreren Features**  
Eigene Darstellung



**Abbildung 3: Training Loss auf den eigenen Daten**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Norbert Frei

Korreferent  
Prof. Vincenzo Parisi

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Vernetzung von mobilen Beobachtungsstationen

## Diplomanden



Patrick Thomas Good



Benjamin Koch

**Einleitung:** Die Bachelorarbeit «Vernetzung von Beobachtungsstationen» befasst sich mit dem Produkt MOSKITO TI der Firma Safran Vectronix AG. MOSKITO TI ist ein militärisch genutztes Fernglas, welches eine Distanz- und Winkelmessung durchführen kann und mit einem Thermal Imaging Chip in der Lage ist, Bilder in einem anderen Wellenbereich aufzunehmen. Zudem ist das Gerät mit einem Restlichtverstärker ausgestattet, mit welchem ebenfalls Bilder aufgenommen werden können.

Das Gerät bietet trotz eingebautem Bluetooth- und WLAN-Modul keine Möglichkeit, Daten mit anderen MOSKITO-TI-Geräten auszutauschen. Die vorliegende Bachelorarbeit stellt Strukturen und Funktionen bereit, um den Datenaustausch unter den Geräten zu ermöglichen. Die Funktionstüchtigkeit wurde an verschiedenen Anwendungsfällen gezeigt.

**Vorgehen/Technologien:** Der für die Vernetzung gewählte Lösungsansatz ist das Aufspannen eines eigenen Overlay-Netzwerkes über das vorhandene physische Netzwerk, mit dem mehrere MOSKITO TI verbunden sind.

Jedes MOSKITO TI generiert und verwaltet selbst eine Liste mit den verbundenen Geräten. Sobald ein Gerät hinzustösst oder sich aus dem physischen Netzwerk entfernt, wird dies automatisch durch die anderen verbundenen Geräte erkannt und im Overlay-Netzwerk bzw. in der eigenen Liste angepasst. Die An- und Abmeldung sowie die Aktualisierung der Geräte im Netzwerk erfolgt durch UDP-Broadcast-Pakete.

Wenn die Verbindung zwischen den Geräten über das Overlay-Netzwerk hergestellt und die Handover-Funktion auf dem Gerät aktiviert ist, werden ab diesem Zeitpunkt sämtliche aufgenommenen Messungen (Distanz, Azimut, Longitude, Altitude, Latitude usw.) in Form von Messpunkten auf alle im Overlay-Netzwerk liegenden, ausgewählten Geräte verteilt. Bilder, die aufgenommen werden, können ebenfalls über das Overlay-Netzwerk an sämtliche selektierte Geräte übermittelt werden.

Weiter wird mit der Vernetzung der Beobachtungsstationen eine passive Distanzmessung mittels Triangulation ermöglicht. Diese Funktion basiert auf dem Austausch des Gerätewinkels und weiterer Standortdaten, welche zur Berechnung der Distanz benötigt werden. Die Kommunikation und das Versenden der Daten erfolgt mittels HTTP-Protokoll über eine REST-Schnittstelle.

**Fazit:** Die Aufgabe der Vernetzung von MOSKITO TIs wurde erfolgreich gelöst. Die Arbeit dient dem Indus-

triartpartner Safran Vectronix AG als Anwendungsbeispiel und soll aufzeigen, wie eine solche Vernetzung erstellt werden kann und welche Nutzeranwendungen sich daraus ergeben.

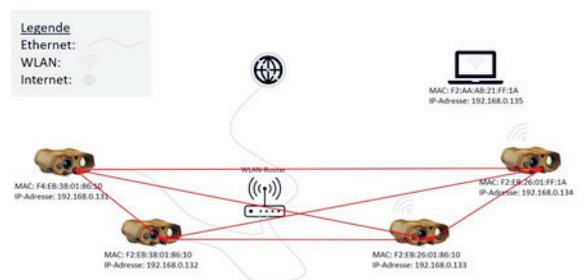
## MOSKITO TI

<https://safran-vectronix.com>



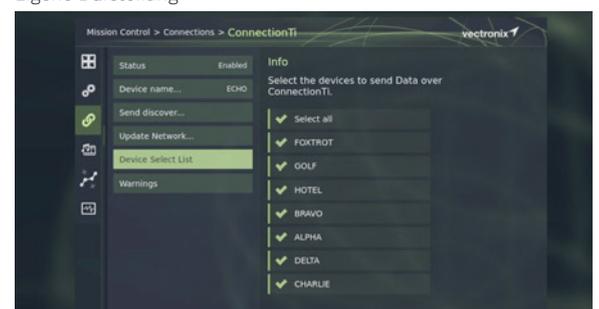
## Overlay-Netzwerk mit roten Linien visualisiert

Eigene Darstellung



## Eingeschalteter ConnectionTi mode mit diversen Geräten in der Device Select List

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Carlo Bach

Korreferent  
Prof. René Pawlitzek

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

## Yogatrainers mittels Pose Estimation

### Diplomanden



Stephan Seliner



Alex Koller

**Einleitung:** Yoga ist eine uralte Übungsmethode, ursprünglich aus dem indischen Raum. Heute ist diese praktische Lebensphilosophie für ihre vielen spirituellen, körperlichen und geistigen Vorteile weltweit bekannt. Unser Ziel ist die Entwicklung eines virtuellen Yogatrainers auf Basis der Schätzung der Körperhaltung mittels KI (Pose Estimation). Die Desktopapplikation kann zu Hause und zu jeder Zeit zum Erlernen, Trainieren, Auswerten und Aufzeichnen von Yoga-Asanas verwendet werden.

Bei der Pose Estimation geht es um die Lokalisierung menschlicher Gelenke in einem Bild oder Video, um eine Skelettdarstellung zu erstellen. Dies ist eine herausfordernde Aufgabe, da sie von einer Reihe von Aspekten wie Massstab und Auflösung des Bildes, Beleuchtungsvariationen, Hintergrundstörungen, Kleidungsvariationen und Umgebung abhängt. Die Yogaposen beinhalten komplizierte Körperhaltungen und sind somit bestens geeignet für diese Technologie.

**Vorgehen/Technologien:** Um eine Yogapose klassifizieren zu können, wird zuerst mittels MediaPipe eine Schätzung der Körperhaltung durchgeführt. MediaPipe ist eine Machine Learning Pipeline für die Posenschätzung, welche von Google entwickelt wurde. Es werden 33 Merkmale (Keypoints) erkannt und durch x-, y- und z-Koordinaten, sowie eine Kennzahl für die Sichtbarkeit definiert.

Für die eigentliche Klassifizierung wird ein weiterer Machine-Learning-Algorithmus verwendet: der Random Forest Classifier. Random Forests sind überwachte Lernmethoden, welche für Klassifizierungsaufgaben eingesetzt werden. Ein Entscheidungsbaum benötigt nur einen Teil der Keypoints-Daten als Input, um die Wahrscheinlichkeit für die verschiedenen Posen vorauszusagen. Der Algorithmus an sich besteht aus mehreren solcher Entscheidungsbäume und generiert die Vorhersage entsprechend den Vorhersagen der einzelnen Entscheidungsbäume.

**Ergebnis:** In der Applikation kann ein Benutzer eine neue Yogapose erlernen, eine Trainingseinheit bestehend aus verschiedenen Posen absolvieren und die Performance absolvierter Trainings analysieren. Im Lernbereich werden zuerst eine Übersicht und eine Schritt-für-Schritt-Anleitung angezeigt, bevor die Übung startet. Während der Übung wird ein Timer gestartet, sobald man sich in der richtigen Pose befindet. Wird die Pose vom Benutzer nicht exakt ausgeführt, wird ein visuelles Feedback generiert, welches anzeigt, in welche Richtung die nicht perfekt positionierten Gelenke bewegt werden sollten. Am

Ende jeder Übung erhält der Benutzer ein Feedback zur erzielten Performance anhand von drei verschiedenen

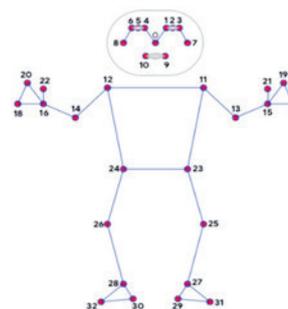
Scores:

- dem Zeitscore, welcher die benötigte Zeit repräsentiert
- dem Genauigkeitscore, welcher aussagt, wie exakt die Pose ausgeführt wurde
- dem Bewegungscore, welcher aussagt, wie ruhig die Pose gehalten wurde

Im Trainingsmodus werden die Daten zur Performance aufgezeichnet und stehen im Statistikbereich zur weiteren Analyse bereit.

### Übersicht der erkannten Keypoints von MediaPipe

<https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose>



- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| 0. nose            | 17. left_pinky       |
| 1. left_eye_inner  | 18. right_pinky      |
| 2. left_eye        | 19. left_index       |
| 3. left_eye_outer  | 20. right_index      |
| 4. right_eye_inner | 21. left_thumb       |
| 5. right_eye       | 22. right_thumb      |
| 6. right_eye_outer | 23. left_hip         |
| 7. left_ear        | 24. right_hip        |
| 8. right_ear       | 25. left_knee        |
| 9. mouth_left      | 26. right_knee       |
| 10. mouth_right    | 27. left_ankle       |
| 11. left_shoulder  | 28. right_ankle      |
| 12. right_shoulder | 29. left_heel        |
| 13. left_elbow     | 30. right_heel       |
| 14. right_elbow    | 31. left_foot_index  |
| 15. left_wrist     | 32. right_foot_index |
| 16. right_wrist    |                      |

### Statistikbereich der App

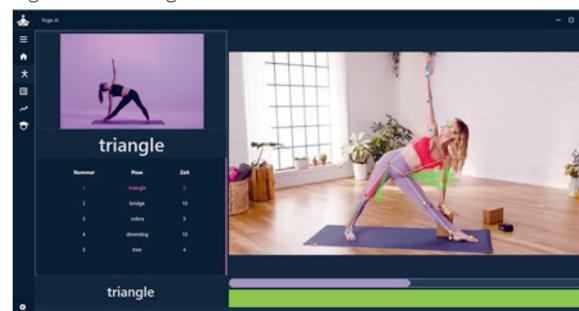
Analysetool für absolvierte Trainings oder definierte Zeitintervalle

Eigene Darstellung



### Ausführung einer Pose mit Livefeedback

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Christoph Würsch

### Korreferent

Nicola Notari

### Themengebiet

Ingenieurinformatik

# Justiersystem für das Ausrichten von Linsen

## Neuentwicklung eines vollautomatischen Justiersystems

### Diplomand



Mike Keller

**Ausgangslage:** Die Feinwerkoptik Zünd AG produziert optische und optomechanische Produkte. Da die optischen Bauteile immer kleiner werden, steigen die Anforderungen an die Produktion kontinuierlich. Aus diesem Grund hat das Unternehmen entschieden, im Rahmen dieser Bachelorarbeit das Linsenjustiersystem neu zu konzipieren und zu automatisieren. Dadurch sollen die Genauigkeit und die Produktivität erhöht werden.

Während des Justiervorgangs wird die optische Achse mit der mechanischen Achse zur Deckung gebracht. Die optische Achse wird durch den Scheitelpunkt und den Krümmungsmittelpunkt der optisch wirksamen Fläche gebildet. Diese muss nicht in der Mitte der Linse liegen. Die mechanische Achse ist beispielsweise die Zylinderachse einer Stablinse. Eine ausgerichtete Linse ist in der Abbildung oben rechts dargestellt.

**Vorgehen:** Zu Beginn wurden verschiedene Konzepte für das Spannen und Ausrichten der Linse erarbeitet und bewertet. Anschliessend wurden die elektronischen Komponenten ausgesucht und aufgebaut, um das beste Konzept zu realisieren.

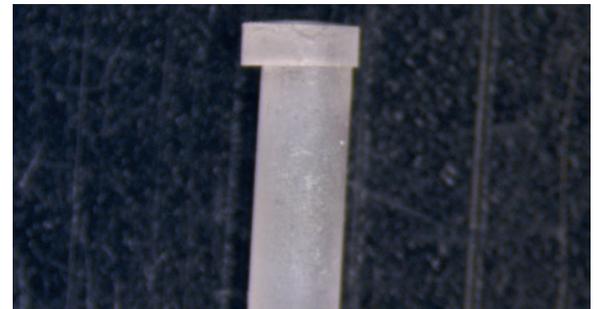
Parallel dazu wurde die Kamera- und Steuerungssoftware implementiert. Dabei wurden die Funktionen einzeln nacheinander implementiert und getestet.

**Ergebnis:** Das neu entwickelte Justiersystem kann Linsen automatisch mit gleichbleibender Genauigkeit ausrichten. Die vorgegebene Zeit wurde leicht überschritten, jedoch kann der personelle Aufwand reduziert werden, was zu einer erhöhten Produktivität

und geringeren Kosten führt. Wird eine doppelt so lange Justierzeit akzeptiert, kann die Genauigkeit signifikant verbessert werden.

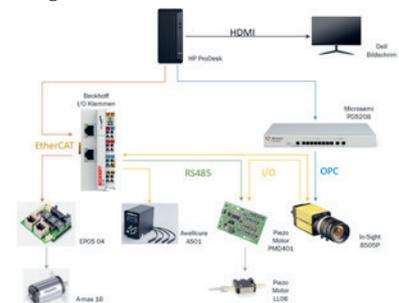
### Linse nach optischer Achse (oben) auf Stablinse mit mechanischer Achse (unten) ausgerichtet

Eigene Darstellung



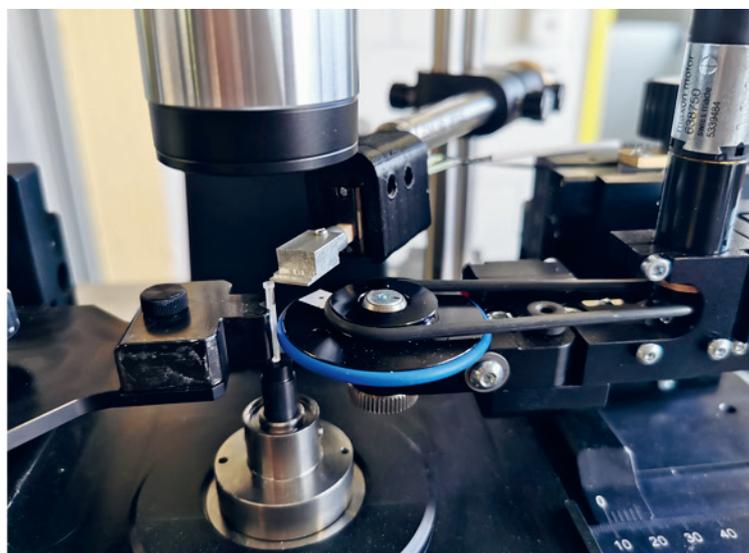
### Steuerungskomponenten

Eigene Darstellung



### Linsenjustiersystem mit eingespannten Linsen

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Günter Nagel

### Korreferent

Prof. Dr. Carlo Bach

### Themengebiet

Ingenieurinformatik,  
Elektronik, Photonik

# Fotorealistische und Augmented Reality Darstellung von Geodaten

## Diplomand



Raffael Christian Alig

**Ausgangslage:** Wer häufig wandert, ist bestimmt schon in Schwierigkeiten gekommen, mithilfe einer Wanderkarte den richtigen Weg zu finden. Es kann schwierig sein, gezeichnete und tatsächliche Wege einander zuzuordnen. Eine mögliche Lösung bietet eine Augmented Reality Applikation, mit der Geodaten und Informationen direkt über Kamerabilder gelegt werden, was die Orientierung vereinfachen kann.

Das Bundesamt für Topografie swisstopo stellt eine grosse Menge an hochauflösenden und detaillierten Geodaten, zum Beispiel Höhenmodelle, Satellitenbilder, usw. kostenlos zur Verfügung. Aus dieser Informationsfülle an Geodaten ergibt sich theoretisch eine Vielzahl von möglichen Applikationen, zum Beispiel die beschriebene AR-Wanderkarte.

In der Praxis ist die Aufbereitung, Analyse und Verwendung der Daten jedoch meist aufwendig und bedarf eines fundierten Fachwissens.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel der Bachelorarbeit ist es, ein Framework zu entwickeln, mit dem man Geodaten effizient lesen, verarbeiten und mit einer einheitlichen Schnittstelle unabhängig von Dateiformat und Speicherort in der Echtzeitumgebung Unity nutzen kann. Insbesondere sollen darauf aufbauend zwei Anwendungen entwickelt werden. Zum einen eine schweizweite fotorealistische Darstellung der Landschaft und zum anderen eine Augmented-Reality (AR)-Applikation.

Bei der fotorealistischen Darstellung werden Daten wie Höhendaten und Satellitenbilder abhängig von einer angegebenen Koordinate abschnittsweise in verschiedenen Auflösungen (je weiter entfernt vom Betrachter, desto weniger hochauflösend) geladen und zu einem Terrain zusammengefügt (Abb. oben). Ausserdem können Gebäudemodelle und verschiedenste Overlays generiert werden (Abb. Mitte). Für den Fotorealismus wird mithilfe von Unity eine echtzeitfähige Simulation der Beleuchtung und Atmosphäre inklusive Wolken usw. umgesetzt (Abb. unten).

Bei der AR-Applikation ist der grundsätzliche Aufbau ähnlich, nur fällt das Rendern des Terrains, der Atmosphäre, der Wolken und der Gebäude weg, da nur Overlays über das Kamerabild gelegt werden. Die Nutzerposition wird automatisch anhand von GPS-Daten ermittelt.

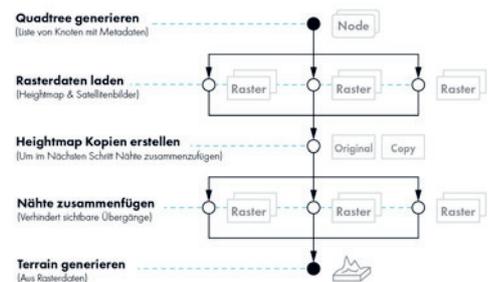
**Fazit:** Auf Basis dieser Arbeit können verschiedenste Unity-Anwendungen entwickelt werden, die auf der Verarbeitung und Darstellung von Geodaten basie-

ren. Die Möglichkeit, dass Daten direkt und effizient aus der Cloud gestreamt werden können und nicht lokal gespeichert sein müssen, ermöglicht zum Beispiel massive Open-World-Umgebungen in Videospielen.

Aktuell wurde das Framework Windows- und Unity-spezifisch entwickelt und ist deshalb auf diese Plattformen limitiert. Aufgrund dieser Limitierung wurde die mobile Augmented-Reality Wanderkarte nur als «Proof of Concept»-Demo entwickelt.

## Ablauf Terrain Generation Pipeline

Eigene Darstellung



## Landschaft mit Gebäudegeometrien und Strassen-Overlay

Eigene Darstellung



## Fotorealistischer Render des Matterhorns

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Dr. Carlo Bach

## Korreferent

Prof. Dr. Andreas Etmeyer

## Themengebiet

Ingenieurinformatik,  
Informations- und  
Kommunikations-  
systeme

# Aufbau eines ML-basierten Intrusion Detection Systems (IDS)

## Erkennen von Angriffen in HTTP-Anfragen mittels maschinellen Lernens

### Diplomanden



Moritz Bättig



Christoph Landolt

**Ausgangslage:** Das Erkennen von Angriffen auf HTTP-fähige Systeme stellt für IT-Sicherheitsverantwortliche eine erhebliche Schwierigkeit dar, da in der Praxis jeder Zugriff mit einer Liste von statischen Regeln abgeglichen werden muss, um einen Angriff zu erkennen. Damit diese regelbasierten Intrusion Detection Systeme zuverlässig funktionieren, muss die Liste mit statischen Regeln in immer kürzeren Zeitintervallen auf neue bekannte Angriffe und Angriffsmuster aktualisiert werden.

Es gibt bereits auf dem Markt erhältliche Systeme, welche maschinelles Lernen zur Erkennung von Angriffen einsetzen. Diese Systeme benötigen aber eine grosse Menge an Trainingsdaten, sehr viel Rechenleistung und eine Anbindung an das Security Operations Center des Herstellers, um die eingegangenen Daten in Angriff und Nichtangriff einzuteilen.

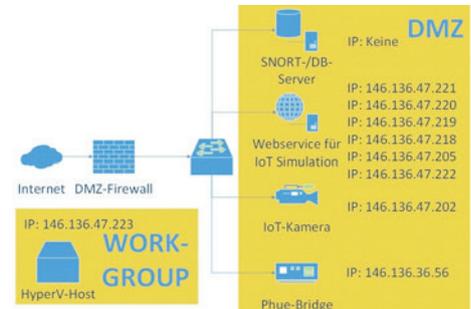
**Vorgehen:** In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie HTTP-Zugriffe quantifiziert werden können, um mit begrenzter Rechenleistung ein Machine-Learning-Modell zu trainieren, um Angriffe über das HTTP-Protokoll effizient erkennen zu können. Dazu wurde eine Software entwickelt, mit welcher HTTP-Zugriffe aufgezeichnet, analysiert und an das Zielsystem weitergeleitet werden können. Damit die Algorithmen neben akademischen Datensätzen ebenfalls mit realen Daten getestet werden können, wurde ein Honeypot aufgebaut, um möglichst viele Angriffe aufzuzeichnen.

**Ergebnis:** Das in der Arbeit vorgestellte Modell konnte in den realen Daten eine Korrektklassifikationsrate von über 96,6% und in den öffentlichen

Datensätzen, je nach Datensatz, über 99,7% erreichen. Die Arbeit zeigt somit, dass eine zuverlässige Intrusion Detection mittels maschinellen Lernens möglich ist, und bildet dank der modularen Softwarestruktur eine gute Grundlage für weitere Optimierungen und akademische Untersuchungen im Bereich der Merkmalsextraktion in HTTP-Anfragen und des maschinellen Lernens zur Unterstützung der Intrusion Detection.

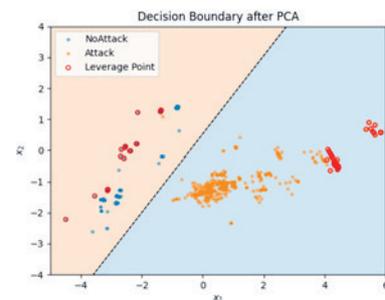
### Aufbau des Netzwerks mit Honeypot

Eigene Darstellung



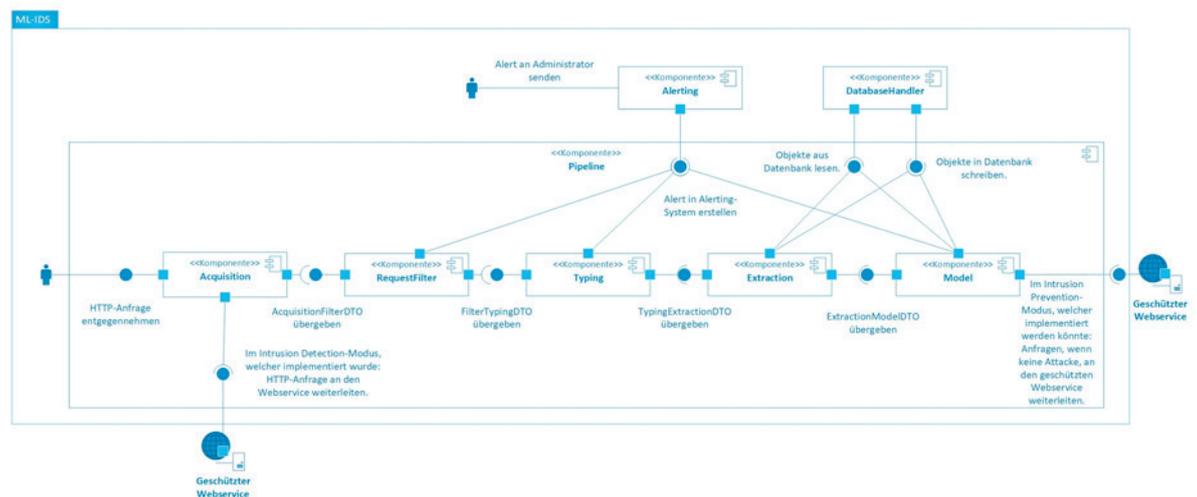
### Logistische Regression und Decision Boundary

Eigene Darstellung



### Komponentendiagramm des aufgebauten Systems

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. René Pawlitzek

### Korreferent

Prof. Dr. Klaus Frick

### Themengebiet

Ingenieurinformatik, Informations- und Kommunikationssysteme, Computational Engineering

### Projektpartner

Noser Engineering AG

# Digitaler Zwilling für smarte Trainings- und Rehabilitationsgeräte

## Diplomand



Vedat Kamberi

**Einleitung:** Die Digitalisierung hat längst auch in der Sportwelt Fuss gefasst. Ein Bereich dieser Art der Digitalisierung wird Exergaming genannt. Exergaming sind Videospiele, bei denen sich der Spieler bewegen muss, um Punkte zu erhalten. Oft wird dazu ein sogenannter digitaler Zwilling benutzt, der die Bewegungen eines realen Spielers nachahmen kann. Ein digitaler Zwilling repräsentiert ein materielles oder immaterielles Objekt aus der realen Welt in der digitalen Welt.

**Aufgabenstellung:** Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollte eine Software entwickelt werden, die Daten des realen Geräts empfangen und den digitalen Zwilling basierend auf diesen Daten steuern kann. Dies sollte die Simulation eines Spiels ermöglichen, welche auf dem Trainings- oder Rehabilitationsgerät basiert. Der digitale Zwilling sollte in zwei Modi agieren können. Als Sender oder als Empfänger.

Als Sender muss er sich auf Knopfdruck von allein mit dem Server verbinden, Daten generieren und entsprechend bewegen können. Die generierten Daten werden an den Server gesendet. Als Empfänger stellt er auch eine Verbindung zum Server her. In diesem Modus kann er sich jedoch nur entsprechend den empfangenen Daten bewegen. Daten erzeugen und senden kann er nicht.

Die Daten können auch visualisiert und für allfällige Synchronisationszwecke verwendet werden. Das Rehabilitationsgerät für die diese Software entwickelt wurde, wird Aquabike genannt. Das Aquabike ist ein tauchfähiges Therapiegerät für Wassertherapie. Es wurde von dem Industriepartner Swisshamed GmbH entwickelt.

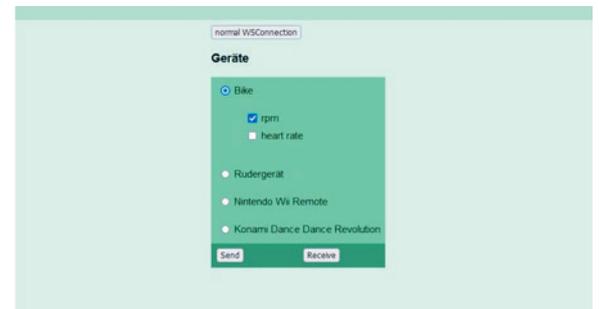
## Bike als Empfänger

Eigene Darstellung



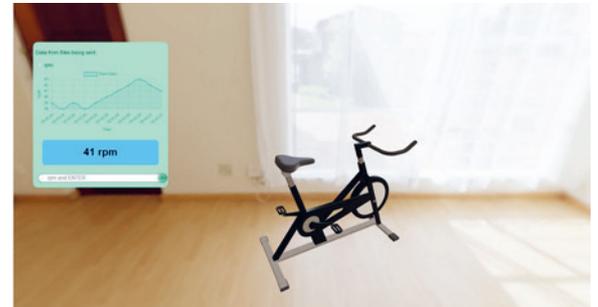
## Geräte, die zur Auswahl stehen

Eigene Darstellung



## Bike als Sender

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Rolf Grun

## Korreferent

Patrick Joos

## Themengebiet

Ingenieurinformatik,  
Informations- und  
Kommunikations-  
systeme,  
Computational  
Engineering

# Autonomer elektrischer Hangschwader

## Mobile Robotik

### Diplomand



Julian Baumann

**Einleitung:** Die Grünlandbewirtschaftung ist ein Bereich der Berglandwirtschaft, die meist unter erschwerten natürlichen Bedingungen erfolgt. Ein Grossteil der steilen Flächen wird zur Raufuttergewinnung genutzt, und die dafür notwendigen Arbeitsschritte sind auch heute noch eine Herausforderung für Mensch und Maschine.

**Aufgabenstellung:** In dieser Bachelorarbeit wurde ein Konzept eines autonomen elektrischen Hangschwaders entwickelt und getestet. Ein Hangschwader wird im Bereich der Raufuttergewinnung eingesetzt und hat die Aufgabe, das Heu von steilen Grünlandflächen zu räumen. Als Grundlage der Arbeit diente das AMEA-Projekt eines autonomen elektrischen Einachsgeräteträgers. Das Ziel der Arbeit bestand darin, ein Anbaugerät zur Hangräumung an das AMEA-Projekt zu adaptieren und Konzepte zur Automatisierung des Prozessschrittes Schwaden zu bilden. Für die Auswahl eines passenden Anbaugerätes wurden die auf dem Markt etablierten Schwader zusammengetragen und miteinander verglichen. Die Anbaugeräte wurden mit der AMEA kombiniert und Konzepte beschrieben. Eine Bewertung mit Kriterien aus der Anforderungsliste führte zum Konzeptentscheid, der weiter ausgearbeitet wurde. Das ausgewählte Konzept wurde in Teilfunktionen unterteilt, und Lösungen für die Adaption des Anbaugerätes wurden entwickelt. Dabei wurden die hydraulischen Komponenten des Schwaders mit elektrischen ersetzt und die mechanische Kupplung zum AMEA optimiert. Für die kritischen Stellen des Antriebes wurden Nachweise erbracht und diese den Anforderungen gerecht konstruiert und hergestellt. Neben der mechanischen Adaption wurden auch Konzepte der elektrischen Anbindung des Schwaders und der Kommunikation zwischen den Komponenten entwickelt. Mögliche Abläufe der automatisierten Hangräumung wurden erarbeitet und die dabei auftretenden Spezialfälle beschrieben. Um die Wahrscheinlichkeit einer Fehlfunktion zu minimieren, wurde ein dazu passendes Sicherheitskonzept aufgestellt.

**Ergebnis:** Die wichtigsten Teile des Adaptionskonzeptes wurden für die Testphase hergestellt. Somit konnte der Hangschwader erfolgreich an den Geräteträger adaptiert und die Funktionsweise auf ebenen Grünlandflächen getestet werden. Die Tests zeigten bereits, dass das gewählte Anbaugerät gewichtstechnisch den Geräteträger an seine Grenzen bringt. Weitere Tests in Hanglagen müssen noch durchgeführt werden, um das Konzept abschliessend zu beurteilen.

### Referent

Prof. Dr. Jürgen  
Prenzler

### Korreferent

Romano Hauser

### Themengebiet

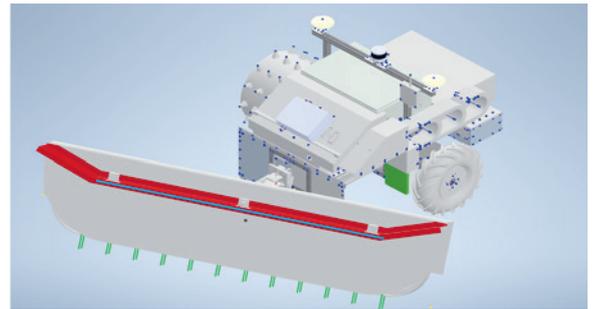
Maschinenbau

### Projektpartner

ALTATEK GmbH, Tenna,  
GR

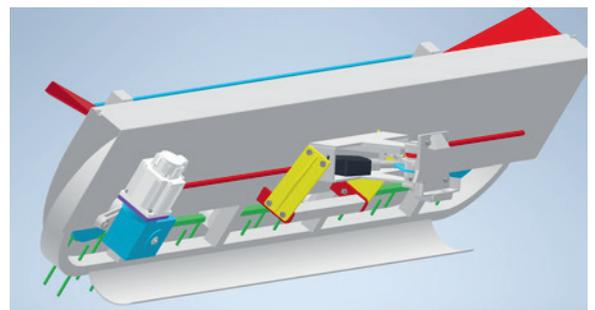
### Konzept Hangschwader

Eigene Darstellung



### Anbaugerät, E-Antrieb und mechanische Kupplung (Ansicht von hinten)

Eigene Darstellung



### Hangschwader im Einsatz

Eigene Darstellung



# Das süsse Gold des Amazonas – Entwicklung einer Honigtrocknungsanlage

## Diplomanden



Luca Nando Matzer



Lucas Knupp

**Einleitung:** Im Amazonasregenwald ist umweltverträgliche Arbeit rar. Ein Grossteil der Einheimischen sind Holzfäller oder betreiben Viehzucht, was beides zur Abholzung des Regenwaldes beiträgt. Der Auftraggeber NTFP Foundation (Non Timber Forest Products) hat unter dem Motto «use it or loose it» ein Projekt gestartet mit dem Ziel, die Abholzung des Regenwaldes zu verhindern. Das Projekt beinhaltet die Bienenzucht der einheimischen Melipona-Bienen durch Einheimische sowie den Verkauf und Export des Honigs. Diese Melipona-Biene liefert einen Honig, der weniger süss ist und am Markt den vielfachen Wert von herkömmlichem Honig erzielt. Die Bienenzucht ist einfach, kann mit eingeschränkten Mitteln bewerkstelligt werden und bietet den Einwohnern eine alternative Einnahmequelle. Der gewonnene Honig besitzt einen höheren Wasseranteil als herkömmlicher Honig. Da Melipona-Bienen den Honig nicht für den Winter einlagern müssen, trocknen die Bienen den Honig nicht so, wie es ihre europäischen Verwandten tun. Um ein Gären nach der Entnahme zu verhindern und die Richtlinien für den Export zu erreichen, muss der Honig auf eine Feuchtigkeit unter 19% reduziert werden. Um diese Aufgabe zu bewältigen, baute die NTFP Foundation in der Nähe der Amazonashauptstadt Manaus eine Anlage zur Trocknung. Diese Anlage soll durch Erkenntnisse dieser Arbeit verbessert werden. Zudem soll eine optimierte Grundlange für zukünftige Anlagen erarbeitet werden.

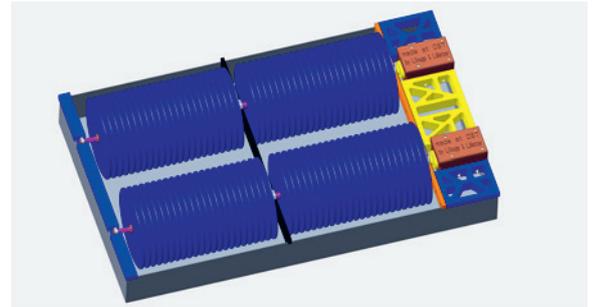
**Vorgehen:** Es wurde in Versuchen ermittelt, wie Honig gehandhabt werden muss, um ihn möglichst schnell und schonend auf seine Endfeuchte zu trocknen. Ein Augenmerk wurde auf Einfachheit und Umsetzbarkeit gelegt, da das erarbeitete Prinzip in der bereits bestehenden Anlage realisiert werden soll. In einem Klimaschrank der OST in Buchs wurden erste Versuche mit wasserverdünntem, herkömmlichem Honig gestartet, um eine Basis zu schaffen und zu verstehen, welche Parameter Einfluss auf die Feuchtigkeitsabgabe haben, beginnend mit variablen Schichtdicken des Honigs und direkter Anströmung der Honigoberfläche durch getrocknete Luft. Es wurde ersichtlich, dass die Grösse der Honigoberfläche den stärksten Einfluss auf die Feuchtigkeitsabgabe hat. Der Ansatz zur Lösung war gefunden – maximale Oberfläche auf minimalem Raum.

**Ergebnis:** Der Aufbau der Anlage richtete sich nach den Erkenntnissen der Versuchsmuster, den Lebensmittelspezifikationen und dem Bauraum des bestehenden Trockners in Manaus. Die Herausforderung stellte die Übertragbarkeit beziehungsweise die Skalierbarkeit des angeeigneten Wissens auf den realen Aufbau. Einschränkend wirkt der Bauraum, welchen die

Anlage in Brasilien zur Verfügung stellt. Dem Auftraggeber kann eine funktionierende Anlage präsentiert werden, welche in Manaus ausgiebig getestet und eingesetzt werden kann. Dazu konnten viele Erkenntnisse und Optimierungen für den Trocknungsprozess von Honig geliefert werden.

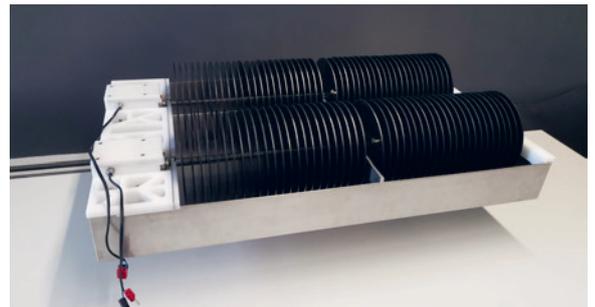
## CAD-Modell des Trocknungseinsatzes

Eigene Darstellung



## Trocknungseinsatz

Eigene Darstellung



## Versuchsaufbau in Buchs, Trocknungseinsatz im Inneren der gebauten Trocknungskammer

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Dr. Daniel Gstöhl

## Korreferent

Prof. Stefan Bertsch, PhD

## Themengebiet

Maschinenbau

## Projektpartner

NTFP Foundation, Bern, BE/Dieter Bratschi

# Effiziente Trinkwasser-Aufbereitung

## Diplomand



Fabian Fasolt

**Einleitung:** Der Bedarf an sauberem Trinkwasser nimmt stetig zu, und das Vorkommen ist keine Selbstverständlichkeit, denn an vielen Orten dieser Erde ist sauberes Trinkwasser immer noch Mangelware. Etliche Faktoren tragen dazu bei, dass sich das allgemeine Trinkwasserproblem in Zukunft ausweiten wird. Auf diesen Tatsachen stützt sich die Idee, eine effiziente Trinkwasser-Aufbereitungsanlage zu entwickeln, welche Meerwasser in sauberes Trinkwasser umwandeln kann. In einer Bachelorarbeit aus dem Jahr 2021 wurde eine bestehende Anlage weiterentwickelt. Mittels Vakuumverdampfung wurde versucht, die Vorgabe der festgelegten Destillatmenge pro Tag bei einer festgelegten Effizienz zu erreichen. Diese Variante der Trinkwassergewinnung konnte jedoch die erwünschte Effizienz nicht erreichen. Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es daher, eine Anlage zu entwickeln, welche auf der «Vapour Compression Distillation» basiert. Dabei ist zu beachten, dass die Anlage bei einem gewünschten Tagesbedarf an sauberem Trinkwasser eine festgelegte Effizienz einhalten soll. Ebenso soll die Anlage gut transportierbar und intuitiv bedienbar sein.

**Vorgehen:** Im Verlauf der Bachelorarbeit wurden insgesamt zwei Varianten aus dem morphologischen Kasten aufgebaut, getestet und optimiert. Der grosse Vorteil der ersten aufgebauten Variante ist deren Einfachheit, dabei werden nur ein Wärmetauscher und ein Verdichter benötigt. Bei den anschliessenden ersten Testläufen traten einige Probleme auf, und die Testläufe mussten relativ schnell abgebrochen werden. Daraufhin wurden zwei Optimierungen durchgeführt. Trotz den durchgeführten Optimierungen konnte die festgelegte Destillatmenge pro Tag bei der festgelegten Effizienz nicht erreicht werden. Anschliessend wurde eine zweite Variante aus dem morphologischen Kasten aufgebaut und getestet. Diese Variante benötigte mehr Bauteile als die erste. Auch bei dieser Variante wurden mehrere Optimierungen durchgeführt. Schlussendlich konnte der «Proof of Concept» einer Anlage auf Basis der «Vapour Compression Distillation» erbracht werden.

**Fazit:** Durch weitere Optimierungen an der zweiten Variante könnte die Destillatmenge pro Tag erhöht und die festgelegte Effizienz erreicht werden. Dabei spielt der Verdichter eine wesentliche Rolle. Auch der vorhandene Behälter müsste dafür nochmals angepasst werden. In dieser Arbeit werden diese Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt.

## Referent

Prof. Stefan Bertsch

## Korreferent

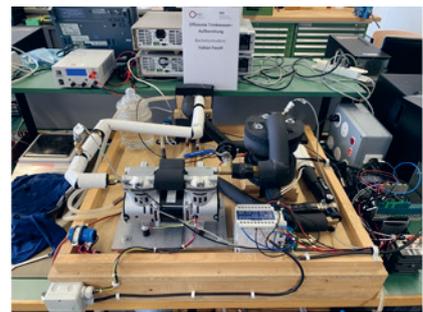
Prof. Dr. Daniel Gstöhl

## Themengebiet

Maschinenbau

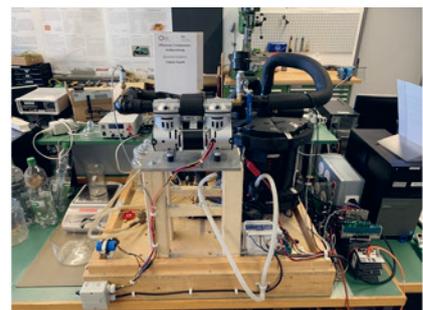
## Erster Prototyp

Eigene Darstellung



## Zweiter, optimierter Prototyp

Eigene Darstellung



## Infrarotaufnahme des zweiten Aufbaus

Eigene Darstellung



# Entwicklung einer Isolator-Aufhängung

## Diplomanden



Marco Giger



Romano Gieriet

**Ausgangslage:** Um die Emissionswerte von Holzfeueranlagen zu senken, werden elektrostatische Feinstaubfilter eingesetzt. Dabei strömen heisse Abgase durch Ionisierungsrohre. Die Feinstaubpartikel werden dabei über eine Hochspannungselektrode aufgeladen und abgeschieden. Die Firma OekoSolve AG entwickelt, produziert und vertreibt ein breites Portfolio an Feinstaubfilter. Ein Kernelement der Feinstaubfilter ist die Isolator-Aufhängung, welche die Hochspannung zum Gehäuse elektrisch isoliert und die mechanische Abreinigung der Hochspannungselektroden bewerkstelligt. Neu soll das isolierende Element aus einem keramischen Werkstoff bestehen. In dieser Bachelorarbeit soll dazu eine neue Isolator-Aufhängung entwickelt und getestet werden.

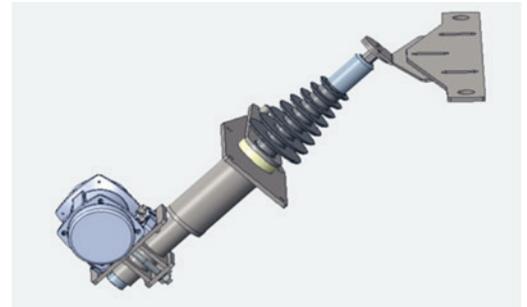
**Vorgehen:** In einem ersten Schritt wurde das Teilsystem Isolator-Aufhängung analysiert und wurden die dynamischen Belastungen messtechnisch mittels Beschleunigungssensoren ermittelt. In der Konzipierung der neuen Isolator-Aufhängung mit Keramik-Isolator wurde der Hauptfokus auf die Keramik-Metall-Verbindungstechnik gerichtet. Anhand des bestbeurteilten Konzepts wurde anschliessend ein erster Prototyp gebaut. Für die intensive Testphase der neu entwickelten Isolator-Aufhängung wurde zusätzlich ein Teststand entwickelt und realisiert. Alle Tests wurden mittels Beschleunigungsmessungen verifiziert.

**Ergebnis:** Erste Belastungstests an der neu entwickelten Isolator-Aufhängung konnten erfolgreich durchgeführt werden und haben gezeigt, dass die Anforderungen an eine kompakte Isolator-Aufhängung mit einem keramischen Isolator-Körper erfüllt

werden können.

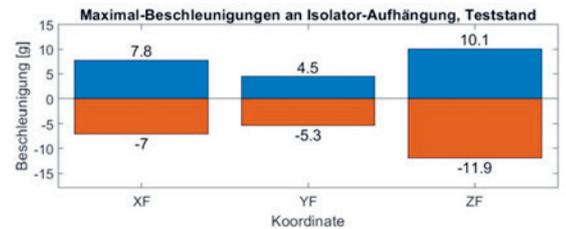
## Bestehende Isolator-Aufhängung

Eigene Darstellung



## Beschleunigungsmessungen

Eigene Darstellung



## Teststand

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Roland Egli

Korreferent  
Ueli Scherrer

Themengebiet  
Maschinenbau

Projektpartner  
OekoSolve, Plons, SG

# Entwicklung eines preiswerten Gas-Brennwert-Wärmeerzeugers

Diplomand



Miran Iseni

**Ausgangslage:** Ein wichtiger Bestandteil eines Gas-Brennwert-Kessels ist der eingebaute Wärmetauscher. Dieser überträgt die Wärme aus dem im Brenner verbrannten Luft-Gas-Gemisch an das im Druckkörper vorhandene Wasser mit dem Ziel, einen möglichst hohen Wirkungsgrad bezüglich Wärmeübertragung zu erreichen. Das Unternehmen Hoval Aktiengesellschaft mit dem Hauptsitz in Vaduz (FL) hat diesbezüglich ein Funktionsmuster mit neuen innovativen Wärmetauscherrohren gebaut. In dieser Bachelorarbeit soll das Funktionsmuster getestet und bezüglich Wärmeübertragung optimiert werden. Zusätzlich sollen Festigkeitsberechnungen durchgeführt werden, um mögliche Materialeinsparungen aufzuzeigen.

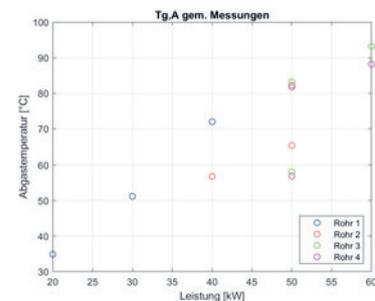
**Vorgehen:** Das Funktionsmuster wurde auf dem internen Prüfstand angeschlossen und unter Teillast betrieben. Es konnte erkannt werden, dass die Abgastemperaturen nicht den gewünschten Werten entsprachen. Um die Differenz zu identifizieren, wurden die Einflüsse auf den Wärmedurchgang jeweils gaseitig und wasserseitig berechnet. Dadurch konnte ein Optimierungspotenzial auf der Gasseite festgestellt werden.

**Ergebnis:** Es wurden verschiedene Optimierungsvarianten ausgearbeitet. Mit einem neuen Konzept konnte gezeigt werden, dass eine erhebliche Steigerung der Wärmeübertragung erzielt werden kann. Zudem wurden durch Berechnungen der Festigkeit Einsparpotenziale an den Bauteilen aufgezeigt.

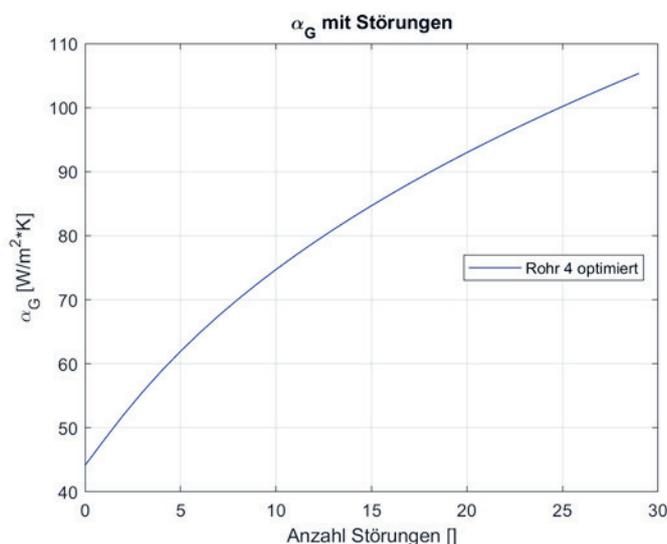
**Darstellung Funktionsmuster Gas-Brennwert-Kessel**  
Eigene Darstellung



**Abgastemperaturen unter Teillast**  
Eigene Darstellung



**Optimierter Wärmeübertragungskoeffizient**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Roland Egli

Korreferent  
Dr. Gerhard Rizzo

Themengebiet  
Maschinenbau

Projektpartner  
Hoval  
Aktiengesellschaft,  
9490 Vaduz, FL

# Innovatives Austragelement für Differentialdosierwaagen

## Diplomanden



Jasmine Gerber



Yannick Durisch

**Ausgangslage:** Die Firma Bühler führt in ihrem breiten Portfolio diverse Maschinen zur industriellen Herstellung von Lebensmitteln. Ein Teil dieses Herstellungsprozesses sind das Verwiegen und Dosieren. Waagen und Dosiersysteme sind fester Bestandteil von praktisch allen Produktionsanlagen, da für einen stabilen Prozess ein kontinuierlicher, genau geregelter oder gemessener Massenstrom vorausgesetzt ist. Um diesen kontinuierlichen Massenstrom zu realisieren, setzt die Firma Bühler unterschiedliche Waagen ein.

**Problemstellung:** Batchwaagen zeichnen sich dadurch aus, dass sie am genauesten sind. Jedoch wird bei ihrem Prozess das Produkt gesammelt, bis das Zielgewicht erreicht ist, und dann auf einmal ausgeschüttet. Dies führt zu keinem kontinuierlichen Prozess. Das heisst, danach muss ein zusätzliches Austragelement installiert werden, um wieder einen konstanten Fluss zu erreichen. Das benötigt mehr Bauhöhe und generiert zusätzliche Kosten. Daher werden häufig Differentialdosierwaagen eingesetzt. Ihr grosser Vorteil ist, dass sie durch ihr bereits vorhandenes Austragelement immer einen kontinuierlichen Massenstrom dosieren. Das ist allerdings auch mit Nachteilen verbunden. Die Genauigkeit dieser Waagen ist geringer. Zusätzlich ist es nicht möglich, pulverige und körnige Produkte mit dem gleichen Typ Maschine zu dosieren. Vieles ist dabei vom Austragelement abhängig, das am Wägebehälter befestigt ist.

**Ergebnis:** Durch diese Bachelorarbeit wurde ein neues Austragelement zu einer Differentialdosierwaage evaluiert, welches diese Nachteile vermindern soll. Es wurden Versuche gemacht, um das Dosierver-

halten beim Ändern der Stellgrösse zu beobachten und die Einflussgrössen abzuschätzen. Aus diesen Versuchen wurde dann ein Konzept erstellt, das der Firma Bühler zur Umsetzung übergeben wurde.

## Firmenlogo

[www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)



## Körnige (z.B. Weizen, Mais) und pulverige (z.B. Mehl, Kleie) Produktproben

Eigene Darstellung



## Differentialdosierwaage für körnige (links) und pulverige (rechts) Produkte

Von der Bühler AG zur Verfügung gestellt



## Referent

Prof. Dr. Jürgen  
Prenzler

## Korreferent

Prof. Roland Egli

## Themengebiet

Maschinenbau

## Projektpartner

Bühler AG, Uzwil SG

# Mechanischer Timer mit 3D-Druck

## Diplomand



Jonas Sebastian  
Guidon

**Einleitung:** Das Leben eines Studenten ist oft etwas hektisch. Gruppenarbeiten, Prüfungen, Hausaufgaben und Projekte müssen in begrenzter Zeit eingeplant und durchgeführt werden. Dies fordert eine hohe Flexibilität und führt zu wenigen Konstanten im Alltag. Der Morgen ist daher oft die einzige Zeit, welche man für sich selbst hat und eine gewisse Regelmässigkeit und einen bestimmten Rhythmus ins Leben bringt.

Mit dieser Bachelorarbeit soll der Einstieg in den Tag durch die Entwicklung eines Timers für das «perfekte» Frühstücksei verbessert werden.

**Aufgabenstellung:** Die Schweizer Ingenieurgeschichte ist unzertrennlich mit der Entwicklung und Herstellung von Zeitmessern verbunden. Auch in einer Zeit, in der mechanische Zeitmesser längst von anderen Technologien abgelöst wurden, fasziniert die Mechanik von Uhren noch immer. Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Konstruktion und Berechnung eines Zeitmessers mit Countdownfunktion. Dazu soll ein aus 3D-Druck gefertigter Timer realisiert und sollen die Funktionen mit Tests bestätigt werden.

**Ergebnis:** Es wurde ein Timer berechnet und hergestellt, welcher durch ein mechanisches Uhrwerk getaktet wird. Das Funktionsmuster konnte hauptsächlich aus 3D-Druck-gefertigten Bauteilen hergestellt werden. Für den Antrieb sowie die Lagerung wurden Standardbauteile verwendet, welche einfach erhältlich sind. Die Funktion des Timers konnte erfolgreich getestet werden.

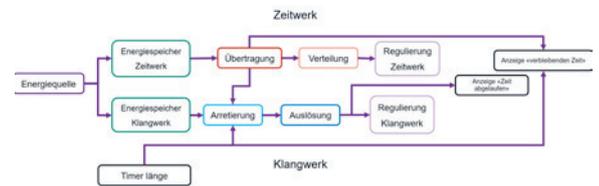
## Explosionsdarstellung

Eigene Darstellung



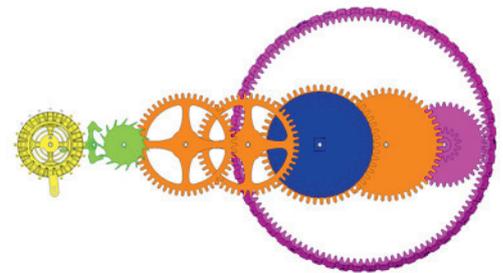
## Systemübersicht

Eigene Darstellung



## Visualisierung Zeitwerk

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Roland Egli

Korreferent  
Prof. Dr. Jürgen  
Prenzler

Themengebiet  
Maschinenbau

# Verlängerung des Auslegers von Spülfahrzeugen

## Produktentwicklung

### Diplomanden



Philipp Studer



Alexander Waibl

**Ausgangslage:** Die Firma Kaiser AG ist ein Liechtensteiner Hersteller von Saug- und Spülfahrzeugen. Der Markt fordert eine Arbeitsbereichvergrößerung des Kombinationsauslegers, welcher am Tankdeckel des Schlamm tanks befestigt ist. Mitbewerber können diese gesteigerte Anforderung zum Teil bereits erfüllen, und die Firma Kaiser möchte in Zukunft einen Ausleger zum Verkauf anbieten, welcher über einen deutlich grösseren Arbeitsbereich verfügt als bis anhin. Dabei sollten keine Nachteile bezüglich Standfestigkeit, Bedienbarkeit oder Design entstehen. Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Konstruktion eines neuen Kombinationsauslegers des Typs KSR73. Der Fokus richtet sich auf die Vergrößerung des Einsatzradius von Spül- und Saugschlauch um mindestens einen Meter. Des Weiteren soll die Schlauchführung verbessert und ein Tropfwasserschutz entwickelt werden.

**Vorgehen:** Zuerst wurde eine Anforderungsliste aus dem Lastenheft des Industriepartners erstellt, welche die Basis für das ganze Projekt schaffte. Um einen Überblick über die bestehenden Produkte der Konkurrenz zu bekommen, wurden eine Marktanalyse sowie eine Patentrecherche durchgeführt. Danach ging es in die Konzeptphase, wo mithilfe einer Funktionsstruktur die verschiedenen Teilfunktionen des Gesamtsystems ermittelt werden konnten. Für diese Teilfunktionen konnten mit verschiedenen Kreativitätstechniken Lösungen generiert werden, welche in einem morphologischen Kasten zusammengetragen wurden. Aus dem Kasten wurden vier verschiedene Konzepte erarbeitet, die anschliessend miteinander verglichen und bewertet wurden. Aus dieser Bewertung ging ein Konzept heraus, welches im weiteren Verlauf ausgearbeitet wurde. Für die Erstellung des CAD-Modells wurde zuerst eine Überschlagsrechnung durchgeführt, um die Dimensionen der wichtigsten Bauteile zu bestimmen. Das System wurde in zwei Teilsysteme aufgliedert, nämlich Teleskop und Halterung, welche im weiteren Verlauf zusammengeführt wurden. Nach der Erstellung der ersten Version des CAD-Modells wurde dieses einer FEM-Analyse unterzogen. Der Fokus richtete sich dabei auf die Verformung und die auftretenden Spannungen im Material. Durch die Analyse wurden kritische Stellen sichtbar, welche im Modell optimiert werden konnten.

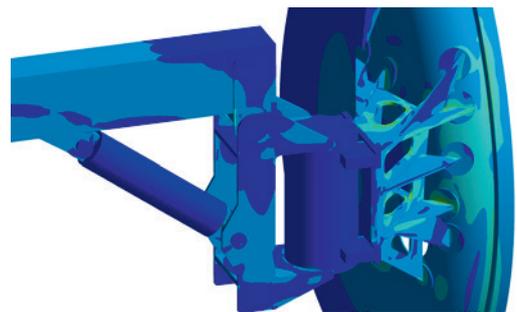
**Fazit:** Als Ergebnis entstand ein Ausleger, welcher die bestehende Reichweite um 1,5 Meter übertrifft und den vorgegebenen Randbedingungen standhält. Durch die Finite-Elemente-Analyse konnte ein Modell erstellt werden, mit dem plausible Ergebnisse generiert werden konnten. Das entwickelte FEM-Modell kann nicht nur für diesen Ausleger verwendet werden,

sondern bietet auch eine solide Grundlage für weitere Teleskopsysteme von Kaiser.

**Bestehender Ausleger KSR73**  
Kaiser AG



**Finite-Elemente-Analyse der Halterung**  
Eigene Darstellung



**Finales Modell**  
Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Jürgen  
Prenzler

**Korreferent**  
Prof. Roland Egli

**Themengebiet**  
Maschinenbau

**Projektpartner**  
Kaiser AG

# Von den Gebrüdern Wright hin zum digitalen Windkanal

## Automatisierung und Optimierung eines Göttinger Windkanals

### Diplomanden



Florian Schneider



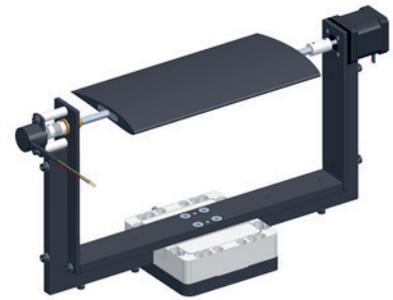
Sven Schlanser

**Einleitung:** In dieser Arbeit wird ein bestehender Göttinger Windkanal mit Messaufbau, Messtechnik und Strömungsführungselementen ausgebaut und automatisiert. Der Fokus richtet sich auf die Erstellung eines Messaufbaus für NACA-Flügelprofile inklusive dazugehöriger Elektronik und Software, damit ein automatisiertes Messen von Strömungswiderstands- und Auftriebskoeffizienten möglich ist. Mit dem bestehenden Messaufbau sind Ergebnisse aus dem Windkanal zurzeit mit grossem Aufwand und der Kenntnis mehrerer Softwareprogramme verbunden.

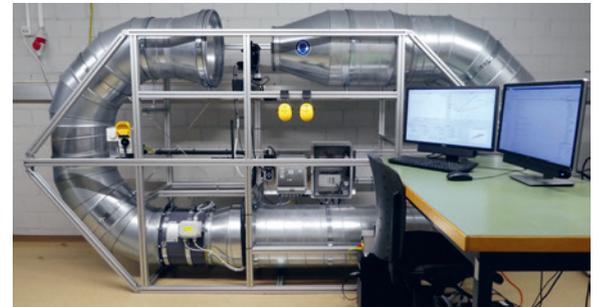
**Ergebnis:** Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein neues Messkonzept implementiert und die Messung automatisiert. Die zu bearbeitenden Arbeitspakete waren: Ausmessen des Strömungsprofils; Verbesserung mittels Leitelementen; Entwicklung des Messaufbaus; Schnittstellenanalyse der Aktoren und Sensoren; Messdatenerfassung und Programmierung der Bedienersoftware. Der Aufbau beinhaltet eine Positionssteuerung des Flügelanstellwinkels, eine Geschwindigkeitsregelung der Strömung, eine Temperaturmessung der Luft im Strömungsquerschnitt und im umgebenden Raum sowie eine Kraftmessung mit drei Freiheitsgraden am Flügelprofil zur Bestimmung von Auftriebs- und Widerstandskraft. Alle Messdaten werden über serielle Schnittstellen in ein MATLAB-Programm eingelesen und bearbeitet. Mit einem zweiten MATLAB-Programm, welches mit XFOIL gekoppelt ist, können theoretische Werte mit den im Windkanal herrschenden Bedingungen berechnet und anschliessend mit den Messergebnissen verglichen werden.

**Fazit:** Durch die Realisierung dieser Arbeit kann der Windkanal in Zukunft für didaktische Zwecke in Form von Praktika genutzt werden. Er erlaubt den Schülern und Studenten, theoretische Kenntnisse aus dem Unterricht mit realen Ergebnissen aus durchgeführten Messserien zu vergleichen. Dank der einheitlichen Software genügen nun Grundkenntnisse in MATLAB, um mit dem Windkanal arbeiten zu können.

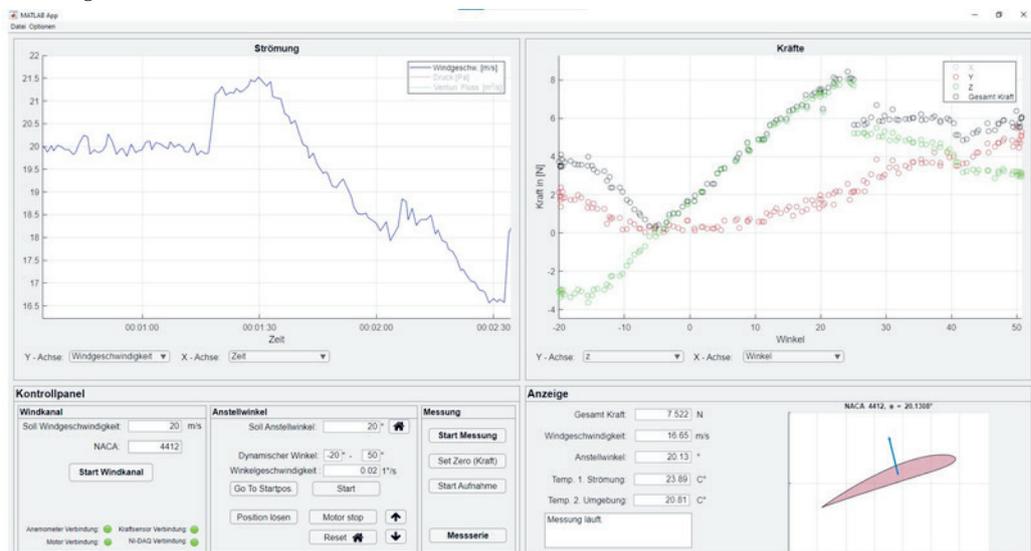
**Messvorrichtung mit Flügelprofil mit 3-Achsen-Kraftsensor und Steuerung des Anstellwinkels**  
Eigene Darstellung



**Göttinger Windkanal: Strömungsgeschwindigkeiten bis ca. 35 m/s sind erreichbar.**  
Eigene Darstellung



**Benutzeroberfläche für die Steuerung des Windkanals und die Analyse der Messergebnisse**  
Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Christoph Würsch

**Korreferent**  
M. Sc. Claudio Wolfer

**Themengebiet**  
Maschinenbau,  
Computational  
Engineering,  
Ingenieurinformatik

**Projektpartner**  
Institut für  
Computational  
Engineering, ICE, OST,  
Buchs, SG

# Kalorimeter für Leistungselektronik

## Diplomanden



David Bösch



Daniel Schwärzler

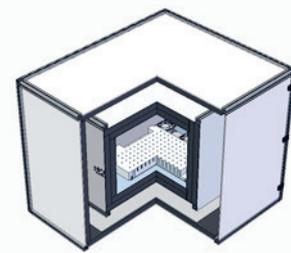
**Einleitung:** BRUSA HyPower AG ist ein international tätiges Unternehmen und setzt Massstäbe in der Entwicklung von Leistungselektronik mit höchster Effizienz und Leistungsdichte für die elektrische Mobilität. Während der Entwicklungsphase eines Gerätes werden unter anderem Wickelgüter mithilfe von Simulationen ausgelegt und in Betrieb genommen. Zur Überprüfung der Simulation werden zwei bidirektionale Leistungszellen im Kreiswandel betrieben, um die Verluste des Gesamtgeräts zu evaluieren. Dies hat den Nachteil, dass die Verluste nur ungefähr den einzelnen Komponenten wie Induktivitäten und Halbleitern der Leistungszelle zugeordnet werden können. Insbesondere bei Induktivitäten ist die elektrische Messung der Verlustleistung aufgrund der hohen Blindströme im Vergleich zur thermischen Messung sehr schwierig. Aus diesem Grund entstand die Idee, die Verlustleistungen thermisch mit einem Kalorimeter zu messen. Das Ziel des Kalorimeters ist es somit, BRUSA bei der Verbesserung und Überprüfung der Genauigkeit von Simulationsmodellen für Leistungszellen zu helfen. Gemessen werden sollen Verlustleistungen von 10 W bis 100 W. Das Messergebnis soll bei einer Verlustleistung von 10 W mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  angegeben werden können. Das zugrunde liegende Prinzip dieses Kalorimeters ist es, die Aussenkammer der Temperatur der Innenkammer nachzuregulieren. Im Idealfall wäre der Temperaturunterschied gleich null und ein Wärmefluss über die Kammer hinweg eliminiert. Die gesamte thermische Energie kann somit über das Kühlwasser abgeführt werden. Durch Messen des Volumenstroms sowie der Ein- und Ausgangstemperatur des Kühlwassers kann die Verlustleistung des Testobjekts bestimmt werden.

**Vorgehen:** Um die geforderte Messgenauigkeit zu erreichen, musste zuerst der benötigte thermische Widerstand der Innenkammer des Kalorimeters berechnet werden. Dieser muss gross genug sein, um die Wärmeverluste von der Innenkammer zur Aussenkammer so weit zu minimieren, dass die Messgenauigkeit eingehalten werden kann. In Abstimmung mit dem thermischen Widerstand wurde die Messgenauigkeit der Temperatursensoren für das Kühlwasser sowie des Volumenstroms ermittelt. Anhand dieser Berechnungen wurde eine Vorauswahl für die Messinstrumente getroffen sowie der tatsächliche Aufbau des Kalorimeters definiert.

**Ergebnis:** Bei der Inbetriebnahme wurde für die erste Messung das Kalorimeter mit über 20 Thermoelementen vom Typ K verwandt, um die Homogenität der Temperatur im Kalorimeter zu prüfen. Im Anschluss wurde mit einer definierten Verlustleistung die Innenkammer aufgeheizt und wurden die Temperaturen

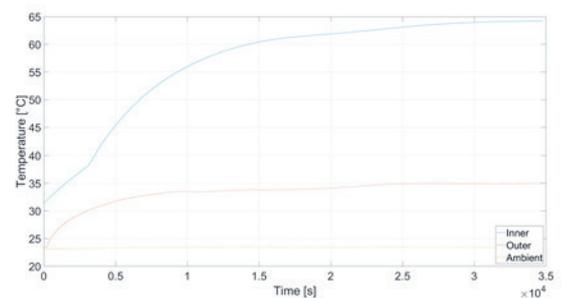
an der Innen- sowie Aussenseite aufgezeichnet. So konnte der tatsächliche thermische Widerstand der Kammer bestimmt werden. Die erste Messung einer Verlustleistung wurde im mittleren Bereich für 50 W gemacht. Eingestellt wurde ein Volumenstrom von 100 ml/min. Das zu erwartende Temperaturdelta des Kühlmediums liegt somit bei  $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Gemessen wurde allerdings nur ein Temperaturdelta von  $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Des Weiteren war die Heizleistung in der Aussenkammer im vermeintlich eingeschwungenen Zustand aussergewöhnlich hoch. Die Wärmebildkamera zeigte jedoch keine undichten Stellen von der Aussenkammer zur Umgebung. Weitere Tests werden folgen, um das Kalorimeter für den täglichen Betrieb zu kalibrieren.

**CAD-Abbildung des Kalorimetaraufbaus**  
Eigene Darstellung



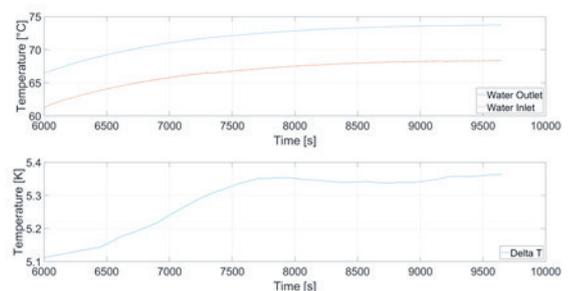
**Messung des thermischen Widerstandes im eingeschwungenen Zustand**

Eigene Darstellung



**Erste Messung der Verlustleistung von 50 W**

Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Stefan Bertsch

**Korreferent**  
MSc. Simon Nigsch

**Themengebiet**  
Maschinenbau,  
Elektronik

**Projektpartner**  
Brusa HyPower AG,  
9470 Buchs, SG

# Beschichtungssystem zur Ermüdungs- und Verschleissminderung von Eisenbahnschienen

## Neuer Lösungsansatz auf Basis elektrochemisch abgeschiedener Zink-Zinkphosphat-Schichten

### Diplomanden



Rahel Senn



Brian Züst

**Einleitung:** Eisenbahnschienen unterliegen ständigen Beanspruchungen, welche zu Ermüdungs- und Verschleisserscheinungen führen. Die dadurch entstehenden Risse begünstigen Korrosion und vermindern die Lebensdauer der Eisenbahnschiene, welche derzeit aufwendig und mit hohen Kosten ausgetauscht werden müssen. Lösungsansätze zur Verschleiss- und Korrosionsvermeidung durch elektrochemisch abgeschiedene Schichten auf Schienenstahl wurden bisher nicht untersucht.

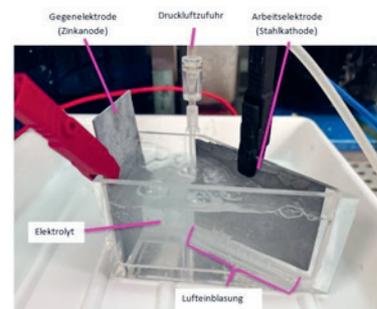
**Vorgehen:** Mittels einer Hull-Zelle (Bild oben) wurde versucht, ein Prozessfenster für die Beschichtung von Eisenbahnschienenstahlproben mit einer galvanischen Zink-Zinkphosphat-Schicht zu identifizieren, da diese gute Korrosionseigenschaften aufweist und vermutlich auch den tribologischen Rad-Schiene-Kontakt positiv beeinflusst. Nach dem Beschichtungsprozess wurden die Proben mittels Röntgenbeugungsanalyse, Rasterelektronenmikroskopie (Bild Mitte) und Profilometrie detailliert analysiert. In anschliessenden tribologischen (Bild unten) und mikromechanischen Tests wurde die Eignung der Beschichtung für die Einsatzbedingungen qualifiziert. Zusätzlich wurden FEM-Simulationen des Rad-Schiene-Kontakts erstellt, um den Einfluss des Reibkoeffizienten der Schicht auf der Schiene zu simulieren.

**Ergebnis:** Beschichtungsversuche auf unterschiedlichen Stahlsorten mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung haben gezeigt, dass die Herstellung von Zink-Zinkphosphat-Schichten stark von der chemischen Zusammensetzung des Stahlsubstrates beeinflusst wird. Aufgrund des engen Prozessfensters und aufgrund der Parametervielfalt der elektro-

chemischen Abscheidung war es schwierig, homogene Beschichtungen reproduzierbar herzustellen. Aus den Resultaten der tribologischen Tests kann aber ein deutlicher Unterschied der Reibungskoeffizienten zwischen elektrochemisch und konventioneller (stromloser) Phosphatierung festgestellt werden. Die mechanischen Eigenschaften der hergestellten Schichten korrelieren mit Anforderungen an die Schienenbeschichtung.

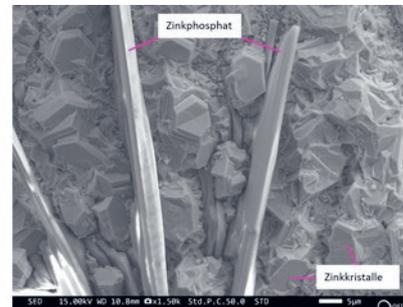
### Hull-Zelle zur Schichtherstellung

Eigene Darstellung



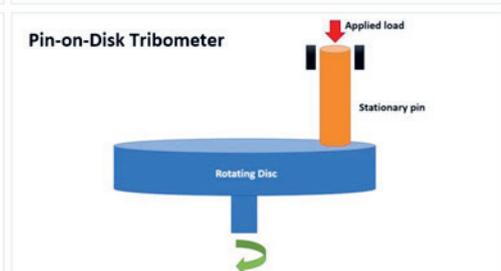
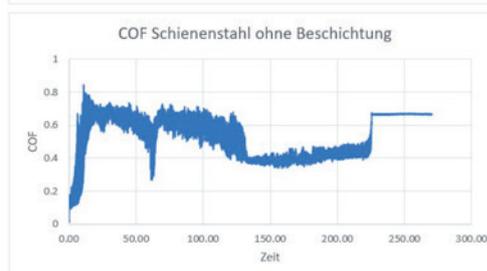
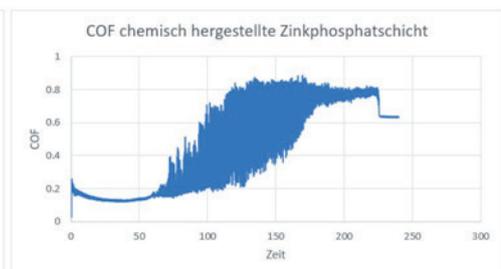
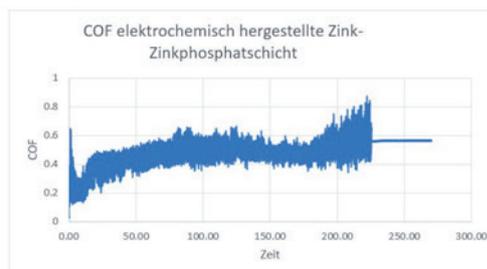
### REM-Aufnahme einer Zink-Zinkphosphat-Beschichtung

Eigene Darstellung



### Vergleich Reibungskoeffizienten (COF) aus den Pin-on-Disk-Tests und schematische Darstellung des Pin-on-Disk-Tribometers

Veluri, R. (o.D.): <https://www.industrialubricants.com>



### Referent

Prof. Dr. Cord Henrik Surberg

### Korreferent

Prof. Dr. Michael Schreiner

### Themengebiet

Maschinenbau, Mikrotechnik

### Projektpartner

Dr. Rowena Crockett, EMPA, Dübendorf, ZH

# Digitaldruck in der mikrotechnischen Fertigung von optischen Systemen

Diplomand



Manuel Zimmermann

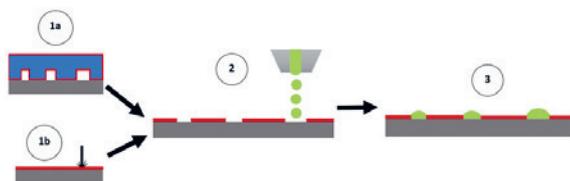
**Einleitung:** Der Einsatz von Tintenstrahldruck in der Mikrotechnologie wird heutzutage von der Genauigkeit der Strukturen begrenzt. In dieser Arbeit sollen Mikrotechnologie und Tintenstrahldruck kombiniert werden, um diesen Nachteil zu überwinden und den Tintenstrahldruck als Prozess für die Mikrotechnologie zu etablieren. Die Oberflächenbeschaffenheit des bedruckten Substrates spielt dabei eine entscheidende Rolle für den Tintenstrahldruck. Deshalb wird in dieser Arbeit eine Modifizierung der Oberfläche als Parameter zur Optimierung des Druckprozesses verwendet.

**Vorgehen:** Durch eine partielle, chemische Modifikation der Oberfläche in hydrophile und hydrophobe Strukturen kann die Applikation der Tinte auf der Oberfläche beeinflusst werden. Dadurch kann die Strukturgröße verringert werden, und es eröffnen sich neue Möglichkeiten für die dreidimensionale Form des gedruckten Materials. In dieser Arbeit werden verschiedene Methoden zur Modifizierung der Oberfläche angeschaut und verglichen. Insbesondere kommt dabei Mikrokontaktdruck zum Einsatz, aber auch Laser- und UV-Ablation. Zur Modifizierung der Oberfläche werden Moleküle verwendet, die eine selbstorganisierende Monolage bilden. Durch das selektive Aufbringen oder Abtragen entsteht eine laterale, hydrophobe Struktur auf einem hydrophilen Substrat. In diese Struktur wird anschliessend ein Lack gedruckt. Die Lackstruktur kann anschliessend mittels Trockenätzprozess in das darunterliegende Substrat übertragen werden.

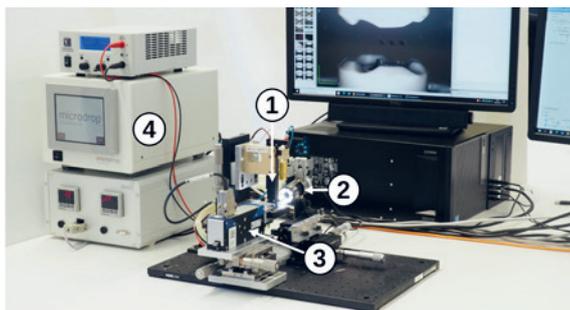
**Ergebnis:** Die Strukturierung der Oberfläche mittels Mikrokontaktdruck konnte erfolgreich gezeigt werden. Als Alternativen dazu wurden UV- und Laserablation getestet, jedoch zeigte sich, dass UV-Ablation mit dem verwendeten Molekül zur Oberflächenmodifizierung nicht möglich ist. Daher sind weitere Tests mit anderen Molekülen notwendig. Das selektive Entfernen der Monolage mit Laser konnte ebenfalls nicht erreicht werden, jedoch erwiesen sich die gelaserten Flächen als stark hydrophil, was als alternative Oberflächenstrukturierung verwendet werden könnte. Auch hier sind weitere Tests notwendig. Weiter konnte gezeigt werden, dass die Tinte durch die Oberflächenstruktur gesteuert wird. Es wurden Linsen zwischen 150 und 700  $\mu\text{m}$  Durchmesser gedruckt. Kleinere Durchmesser wären grundsätzlich möglich, jedoch nur bei Verwendung eines Druckers, der kleinere Tropfen produzieren kann. Die erreichten Linsen nach einem Druckdurchgang sind sehr flach, durch mehrere Druckdurchgänge pro Linse konnten auch höhere Linsen gedruckt werden. Um die erreichbare Strukturhöhe mit der demonstrierten Oberflächenmodifikation weiter zu steigern, wird in

einem nächsten Schritt die Tintenformulierung entsprechend weiterentwickelt.

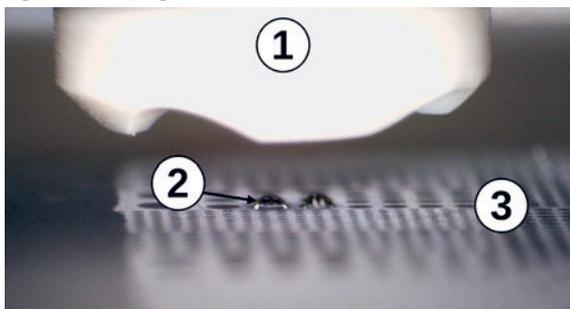
**Konzept der Arbeit: 1 a und b) Strukturieren der Oberfläche, 2) Tintenstrahldruck, 3) gedruckte Struktur**  
Eigene Darstellung



**Versuchsaufbau Tintenstrahldruck: 1) Einzeldüse, 2) Kamera, 3) gekühlter XY-Tisch, 4) Steuerung**  
Eigene Darstellung



**Drucken von Mikrolinsen auf der strukturierten Oberfläche: 1) Düse, 2) Linsen, 3) Kondensationsmuster**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Tobias  
Lamprecht

Korreferentin  
Katrin Albrecht

Themengebiet  
Mikrotechnik

# Einsatz von EAP als amplitudengesteuerter Aktor für Mikrofluidikpumpen

## Diplomand



Benno Bohnenberger

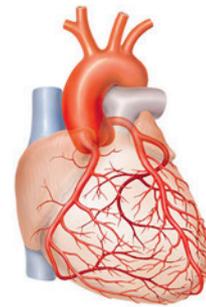
**Einleitung:** Pumpensysteme zur Beförderung kleinster Flüssigkeiten bilden ein zentrales Element in der Mikrofluidik und der Mikroanalytik. Mit herkömmlichen piezoelektrischen Aktoren ist es möglich, den Durchfluss frequenzgesteuert zu regeln. Für die Simulation des Durchfluss- und Druckprofils von Herzkranzgefäßen wäre es von Vorteil, die Profile amplitudengesteuert zu regeln. Mithilfe von elektroaktiven Polymeren (EAP) ist es möglich, ein solches System zu realisieren.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel in dieser Bachelorarbeit ist es, eine Pumpe aufzubauen, welche mithilfe eines EAP-Aktors in der Lage ist, den Durchfluss und den Druck einer Flüssigkeit amplitudengesteuert zu modulieren. Dazu sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden: Über welche mechanischen Eigenschaften verfügt ein EAP? Lässt sich ein EAP als Aktor für ein Pumpensystem einsetzen? Und ist es möglich, mithilfe eines EAP-Aktors eine Mikro-pumpe zu realisieren, welche den Durchfluss amplitudengesteuert regeln kann, um so beispielsweise das Durchflussprofil eines Herzkranzgefäßes zu simulieren?

**Vorgehen:** Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde als Erstes der EAP charakterisiert, um zu überprüfen, ob der EAP die mechanischen Anforderungen erfüllen kann. In einem folgenden Schritt wurde der Aufbau der EAP-Pumpe geplant und realisiert. Anschliessend wurden der Durchfluss und der Druck der Pumpe charakterisiert.

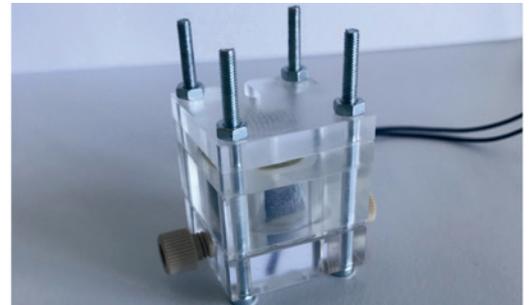
## Koronargefäße (Herzkranzgefäße) im menschlichen Herzen (Symbolbild)

lom123/stock.adobe.com



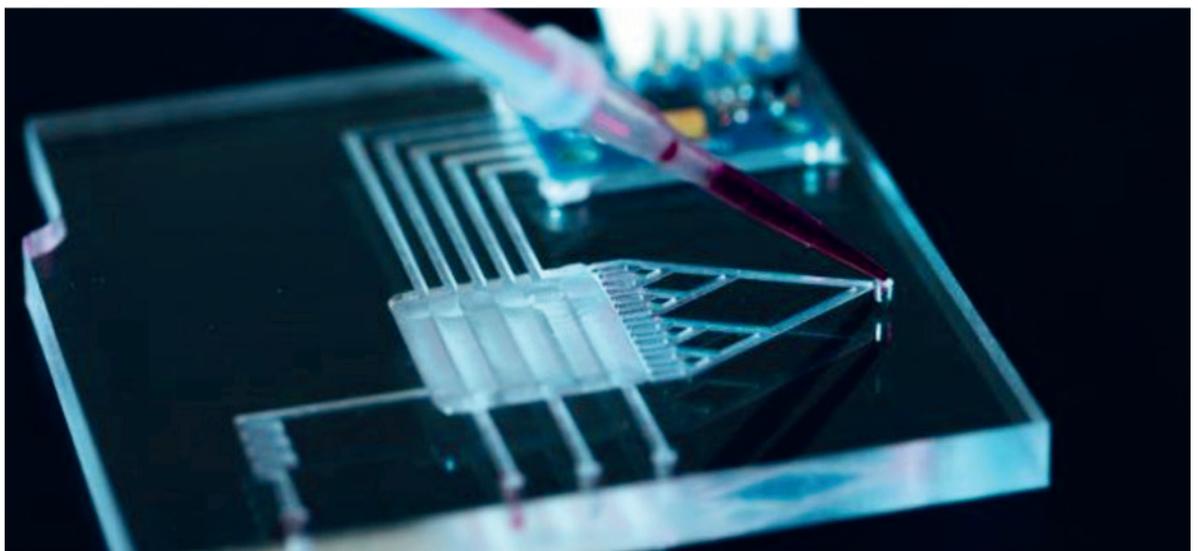
## Die realisierte Mikrofluidikpumpe mit einem EAP als Aktor

Eigene Darstellung



## Mikrofluidiksystem für bioanalytische Anwendungen (Symbolbild)

science photo / Fotolia.com



## Referent

Prof. Dr. Jens Ulmer

## Korreferent

Prof. Dr. Samuel Huber  
Lindenberg

## Themengebiet

Mikrotechnik

## Projektpartner

Daetwyler, Schattdorf,  
UR

# Medizinische Implantate

## Evaluation und Prüfung von Materialien für die Verkapselung

Diplomandin



Karin Stahel

**Einleitung:** Viele Methoden zum Bonden von Glas sind auf hohe Temperaturen angewiesen. Mit Femtosekunden-Laserpulsen lassen sich transparente Substrate direkt schweißen. Ein grosser Vorteil beim Laserschweißen ist, dass der Wärmeeintrag nur lokal stattfindet und nicht im gesamten Substrat. Somit lassen sich Packages mit hitzeempfindlichen Komponenten realisieren.

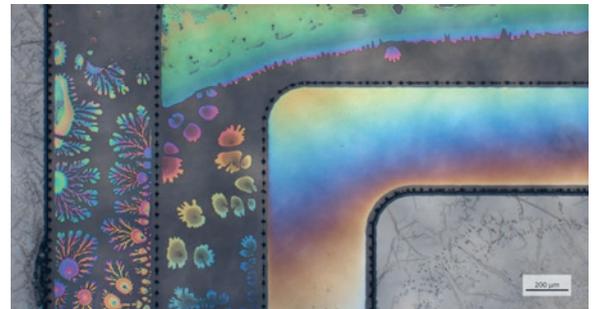
Ziel der Arbeit ist es, Prüfmethode zur Charakterisierung von lasergeschweissten Fügeverbindungen von glasartigen Materialien zu entwickeln und diese am Beispiel von Quarzglas zu evaluieren.

**Vorgehen:** In dieser Arbeit werden einführend die Grundlagen für das Laserschweißen von Glassubstraten vermittelt. Es soll analysiert werden, wie sich Glassubstrate mittels Laserschweißen dauerhaft und hermetisch fügen lassen. Dazu wurde die Schweißung mit verschiedenen Mikroskopiemethoden untersucht, und es wurden mechanische Testmethoden durchgeführt, um die Bondstärke zu prüfen.

**Ergebnis:** Die gewählten Methoden sind als Prüfmethode für die Charakterisierung von lasergeschweissten Fügeverbindungen geeignet. Da allerdings der Schweißprozess noch recht streut bei der Qualität, wird eine hohe Anzahl Proben benötigt, um ein Material zu evaluieren.

**Mikroskopaufnahme einer Scherprobe, die nach dem Schweißen nochmals im Ätzbad war**

Eigene Darstellung



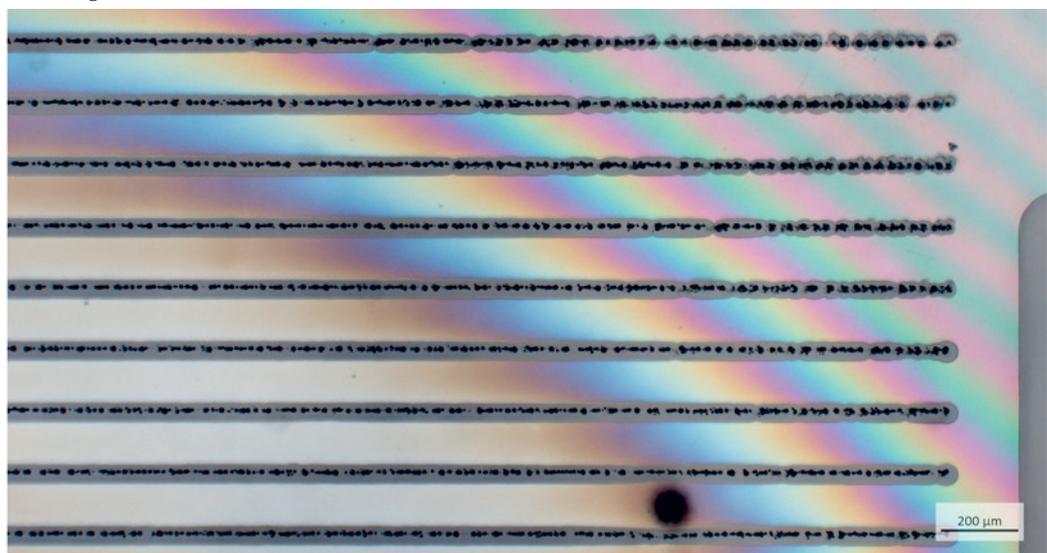
**Mikroskopaufnahme mit differenziellem Interferenzkontrast einer Mikrochevron-Teststruktur**

Eigene Darstellung



**Mikroskopaufnahme einer Mikrochevron-Teststruktur mit uneinheitlicher Verteilung der Bondstärke**

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Jens Ulmer

Korreferentin  
Dr. Kerstin Kern

Themengebiet  
Mikrotechnik

# Optimierung einer IR-Quelle für einen photoakustischen CO<sub>2</sub>-Sensor

Diplomandin



Marijke Meier

**Ausgangslage:** Zur Messung von CO<sub>2</sub> über den photoakustischen Effekt wird Infrarotstrahlung benötigt. Diese wird durch das Erhitzen eines metallischen Heizers erzeugt. Für diese Bachelorarbeit wurde ein CO<sub>2</sub>-Sensor des Industriepartners Sensirion verwendet. Ziel ist es, die elektrische Heizleistung, welche benötigt wird, um den Heizer auf die gewünschte Temperatur zu bringen, auf die Hälfte zu reduzieren.

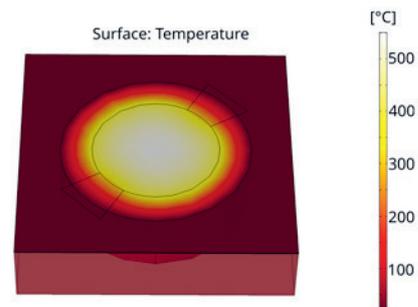
**Vorgehen:** Mithilfe einer FEM-Simulation in Comsol Multiphysics wurden verschiedene Lösungsansätze getestet und bewertet. Dabei wird bezweckt, den Heizer thermisch zu isolieren und dadurch die Verluste zu verringern. Eine gute thermische Isolation kann erreicht werden, indem die Materialien in der Umgebung des Heizers eine möglichst tiefe Wärmeleitfähigkeit aufweisen, ohne dabei die Funktion des Bauteils zu beeinträchtigen. Dies gelingt beispielsweise, wenn anstelle der Luftumgebung Argon verwendet wird, oder auch bei Verringerung des Gasdrucks.

Zur Überprüfung dieser Simulation wurden Experimente bei kontrollierten Umgebungsbedingungen in einer Vakuumkammer durchgeführt. Der Sensor wurde verschiedenen Gasdrücken zwischen 1 bar und 0.003 mbar sowie einer Argonumgebung ausgesetzt. Gleichzeitig wurde ein Sensorparameter aufgezeichnet, welcher proportional zur benötigten Heizleistung ist. In einem weiterführenden Experiment wurde versucht, auf der Unterseite des Heizers die erwünschte Vakuumbedingung durch eine hermetisch dichte Verbindung zu erhalten. Dabei kamen die zwei Verfahren anodisches Bonden und eutektisches Bonden zur Anwendung. Die Dichtheit der Verbindung wurde über den zeitlichen Verlauf der Durchbiegung der Membran mittels Weisslichtinterferometrie gemessen.

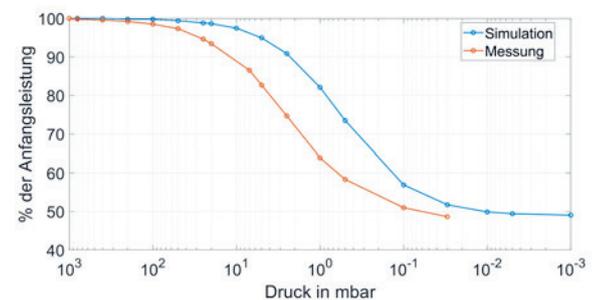
**Ergebnis:** Die Simulation zeigt auf, dass es möglich ist, die elektrische Leistung des Heizers auf die Hälfte zu reduzieren, wenn das Bauteil in Vakuum anstatt in Umgebungsluft betrieben wird. Dieses Simulationsergebnis konnte mit den Ergebnissen aus dem Experiment in der Vakuumkammer bestätigt werden. Die Realisierung eines Vakuums auf der Unterseite des Heizers ist gelungen, wenn auch nur kurzzeitig. Die drei Messungen des zeitlichen Verlaufs der Membrandurchbiegung nach 1 h, 7 h und 24 h zeigten einen exponentiellen Verlauf des Diffusionsvorgangs. Zum Zeitpunkt der dritten Messung war keine Durchbiegung mehr erkennbar. Daraus ist zu schliessen, dass die Dichtheit der getesteten Bondingverfahren nicht genügend hoch ist für den vorgesehenen Verwendungszweck und die Lebensdauer des angestrebten Produkts. Auf der Grundlage der Bachelorarbeit

konnten jedoch wertvolle Erkenntnisse gewonnen und Handlungsanweisungen für zukünftige Versuche abgeleitet werden.

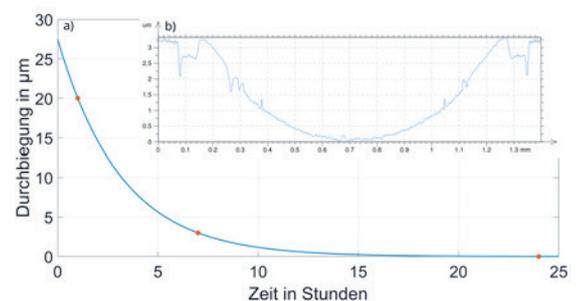
**Simulation der Wärmeleitung und Temperatur des IR-Strahlers**  
IMP Institut für Mikrotechnik und Photonik



**Vergleich der Simulation mit den Messwerten von Sensoren in einer Vakuumkammer**  
IMP Institut für Mikrotechnik und Photonik



**Zeitlicher Verlauf der Durchbiegung a) und Auswertung der Durchbiegung mit dem Weisslichtinterferometer b) nach 7 h.**  
IMP Institut für Mikrotechnik und Photonik



**Referent**  
Prof. Dr. Samuel Huber  
Lindemberger

**Korreferent**  
Prof. Dr. Christoph  
Würsch

**Themengebiet**  
Mikrotechnik

**Projektpartner**  
Sensirion AG, Stäfa ZH

# Thermisch aktivierte Klemmung von Halbleiter-Chips beim Lötprozess

Diplomand



Dario Ikonic

**Ziel der Arbeit:** Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Vorrichtung zur Klemmung von Chips in einem Vakuumlötofen, wobei während dem Prozesses kein Zugang vorhanden ist. Als Energiequelle kann nur die Wärmeenergie des Ofens verwendet werden, welche für den Lötprozess benötigt wird.

**Vorgehen/Technologien:** Zuerst wurden die Anforderungen der Vorrichtung analysiert, um daraus mögliche Konzepte entwickeln zu können. Die Analyse bestand darin, maximale Arbeitsvolumen und Arbeitsbedingungen zu ermitteln. Daraus wurden die Kriterien für die Konzepte generiert.

Das endgültige Konzept besteht aus zwei Teilsystemen:

1. Chevron-Aktor
2. Weg-Kraft-Wandler

Beim ersten Teilsystem wird die vorhandene Wärmeenergie in eine Bewegung umgewandelt, und mit dem zweiten Teilsystem wird dann die Bewegung in die benötigte Anpresskraft umgewandelt. Diese Funktionen durften nur eine maximale Höhe von 70 mm aufweisen. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Technologien und Theorien kombiniert, z. B. FEM-Simulationen (Finite-Elemente-Methode) zur Bestimmung der Abmessungen des zweiten Teilsystems, Festkörpergelenke, um das Konzept aus einem Stück fertigen zu können, und die Balkentheorie zur Berechnung der Festigkeit der Vorrichtung.

**Ergebnis:** Mithilfe der Konzeptauswertung wurde das Konzept eines thermischen Aktors entwickelt, eines sogenannten Chevron-Aktors. Durch die vorhandene Wärmeenergie wird der Chevron-Aktor bis auf 360 °C erhitzt, und durch die Ausdehnung des Materials wird eine Bewegung von bis zu 2 mm erzeugt. Damit konnte die Wärme in Bewegung umgewandelt werden. Als zweites Teilsystem wurden Balkenfedern verwendet, welche die Bewegung in Kraft umwandeln.

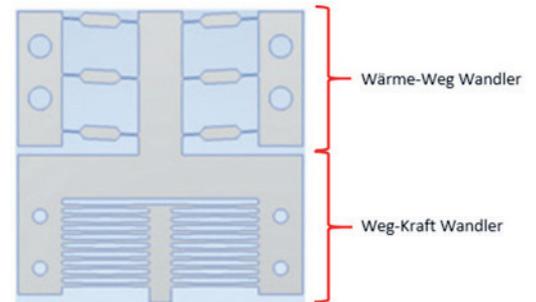
Diese beiden Funktionen wurden dann in drei Tests evaluiert:

1. Das erste Teilsystem, der thermische Chevron-Aktor, wird durch eine Heizplatte erwärmt und die Bewegung entsprechend optisch ausgemessen.
2. Die Druckkraft des zweiten Teilsystems (Weg-Kraft-Wandlers) wurde mit einer Kraftmesszelle bezüglich der Verschiebung ausgemessen.
3. Das Gesamtsystem (thermische Klemme) wurde mittels einer Druckprüfanlage ausgemessen, wobei die Vorrichtung im beheizbaren Probenraum bis auf 240 °C erwärmt und die Kraft gegenüber der Bewegung aufgezeichnet wurde.

Somit konnte das Funktionsmuster erfolgreich validiert werden.

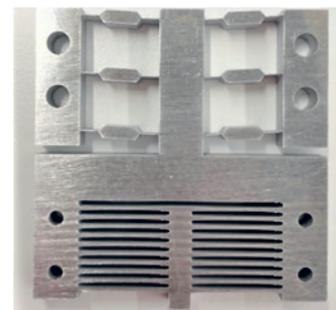
## Konzept thermische Klemme

Eigene Darstellung



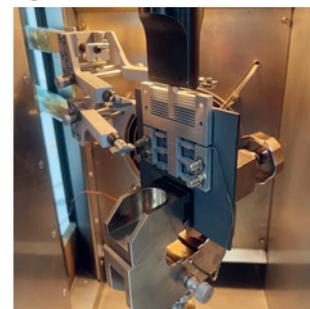
## Thermische Klemme gefertigt in Aluminium (Breite: 65 mm und Dicke: 5 mm)

Eigene Darstellung



## Testaufbau in der beheizbaren Druckprüfanlage

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Tobias  
Lamprecht

Korreferent

Prof. Dr. Jürgen  
Prenzler

Themengebiet

Mikrotechnik,  
Maschinenbau

# Full-Arch-Scanner

## Verfahren für die Vermessung und Modellierung von Zahnreihen

### Diplomanden



Marco Roth



Patrick Walser

**Einleitung:** In der dentalen Abformung, dem Bindeglied zwischen Zahnarztpraxis und Zahntechnik, wird der unangenehme Gebissabdruck allmählich durch digitale Intraoralscanner ersetzt. Solche Scanner weisen durch die handgeführte Bedienung einige Schwierigkeiten auf. Gefragt wäre deshalb ein sogenannter Full-Arch-Scanner, der einen kompletten Zahnbogen auf einmal erfassen kann. Im Rahmen eines Industrieprojektes, das sich mit der Entwicklung eines solchen Systems befasst, werden in dieser Bachelorarbeit mögliche Lösungsvarianten erarbeitet. Ziel der Arbeit ist es, sich in unterschiedliche infrage kommende Messverfahren einzuarbeiten, ein Messverfahren auszuwählen und einen funktionsfähigen Demonstrator für die digitale Modellierung von Teilen einer Zahnreihe zu realisieren. Anhand von Messungen soll mit diesem Demonstrator aufgezeigt werden, ob das gewählte Verfahren für einen Full-Arch-Scanner geeignet ist und wie ein solches System weiterentwickelt werden könnte.

**Vorgehen:** Auf Basis eines Technologiescreenings entschied man sich in dieser Arbeit, die beiden Messverfahren Streifenprojektion und Active Wavefront Sampling (AWS) genauer zu evaluieren. Für beide Varianten wurden Konzepte ausgearbeitet und bewertet. Letztendlich wurde entschieden, das AWS weiterzuverfolgen. Um erste praktische Erkenntnisse zu gewinnen, wurden mehrere Testaufbauten umgesetzt. Da das erste Konzept des Samplings mit einem DMD (Digital Micromirror Device) verworfen werden musste, wurde eine Anordnung mit einer rotierenden Blende umgesetzt. Nach mehreren Tests erfolgte die Auslegung des AWS-Messsystems, und der finale Demonstrator für das AWS wurde schrittweise mit einer Kamera, einem Projektor und einer rotierenden Apertur realisiert. Neben der Auswahl der Hardwarekomponenten wurde auch eine eigene Software zum Erfassen und Verarbeiten von Bildern sowie zur Erzeugung und Visualisierung von 3-D-Punktwolken entwickelt. Mit dem finalen System konnten Messungen an verschiedenen Objekten durchgeführt werden, wobei auch ein Modell eines Zahnbogens eingesetzt wurde. Die so erzeugten Punktwolken wurden ausgewertet und mit einer externen Referenzmessung verglichen.

**Ergebnis:** Der Demonstrator erreicht ein Messvolumen von ca. 22 x 18 x 20 mm mit einer lateralen Auflösung von 0,112 mm. Die Auswertung der erzeugten Punktwolken zeigt, dass mit dem AWS-System prinzipiell flächige Messungen von verschiedenen Messobjekten, wie dem Zahnbogenmodell, durchgeführt werden können. Dabei entstehen jedoch Abweichungen, unter anderem in Form einer Welligkeit in den Messdaten. Ein Vergleich mit der Referenzmessung zeigte

über den kompletten z-Messbereich (Tiefe) eine maximale Abweichung von 0,21 mm (Welligkeit gemittelt). Bei einer Wiederholmessung lag die Reproduzierbarkeit im Rahmen von 0,04 mm. Es wurde mit verschiedenen Tests versucht, die Ursachen der Messabweichungen zu finden. Auch wenn diese noch nicht abschliessend geklärt sind, so werden unter anderem Einflüsse durch die Musterprojektion und durch die Temperatur vermutet. Das System könnte durch Anpassungen der Hard- und Software noch deutlich verbessert werden. Zudem könnten die verwendeten Komponenten mit verschiedenen Ansätzen miniaturisiert werden, was zusätzliche Herausforderungen mit sich bringt. Für das Projekt Full-Arch-Scanner wird empfohlen, das Active Wavefront Sampling durch Weiterentwicklung des Demonstrators aktiv weiterzuentwickeln.

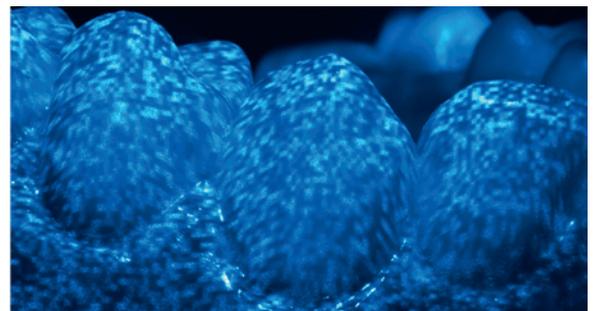
### Demonstrator beim Messen einer Zahnreihe

Eigene Darstellung



### Bild des projizierten Random-Patterns aus der Messung einer Zahnreihe

Eigene Darstellung



### Ergebnis: Punktwolke einer Zahnreihe

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Markus Michler

### Korreferent

Prof. Dr. Carlo Bach

### Themengebiet

Photonik





Mitten drin



 OST

## Unsere Institute am Campus Buchs

**EMS** | Institut für Entwicklung  
Mechatronischer Systeme

[www.ost.ch/ems](http://www.ost.ch/ems)

**ESA** | Institut für Elektronik,  
Sensorik und Aktorik

[www.ost.ch/esa](http://www.ost.ch/esa)

**ICE** | Institut für  
Computational Engineering

[www.ost.ch/ice](http://www.ost.ch/ice)

**IES** | Institut für  
Energiesysteme

[www.ost.ch/ies](http://www.ost.ch/ies)

**IMP** | Institut für Mikrotechnik  
und Photonik

[www.ost.ch/imp](http://www.ost.ch/imp)

**INF** | Institut für  
Ingenieurinformatik

[www.ost.ch/inf](http://www.ost.ch/inf)

Wir danken unseren Preisspendern und Sponsoren

Ein herzliches Dankeschön für die zur Verfügung gestellten Förderpreise:



**oerlikon**  
balzers



*Leica*  
**Geosystems**



**SWISS ENGINEERING**  
STV UTS ATS



**li**  
**ch** Gesellschaft  
Schweiz-Liechtenstein

OST  
Ostschweizer Fachhochschule  
Werdenbergstrasse 4  
9471 Buchs, Switzerland

T +41 81 755 33 11  
technikstudium@ost.ch  
ost.ch/systemtechnik



Buchs

**OST**  
Campus Buchs

