



Bachelorarbeiten 2023

# Bachelor of Science in Systemtechnik



### Förderpreis der Stadt Buchs

Absolventinnen und Absolventen sowie das zuständige Institut erhalten je CHF 1000.–

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

1973 wurden die ersten Diplome der NTB (Neues Technikum Buchs) vergeben. Drei Jahre zuvor hatte das «TECH» erstmals sein Studienprogramm gestartet.

50 Jahre später – in diesem Jahr – wird 55 Absolventinnen und Absolventen zum ersten Mal das Diplom der OST – Ostschweizer Fachhochschule verliehen. Die meisten von ihnen sind drei Jahre zuvor, im Jahr der Gründung der OST, in ihr Studium gestartet.

## Und noch eine letzte Zahl

Mit dem Abschluss im Herbstsemester 2023 haben insgesamt 4445 Ingenieurinnen und Ingenieure ihr Studium im Lead des Campus Buchs absolviert und so zu dem hervorragenden Ruf des Standorts im Alpenrheintal beigetragen.

Während all der Jahre hat sich die Ausbildung an den Bedürfnissen der Wirtschaft und der Gesellschaft nach Fachkräften orientiert: Ingenieurinnen und Ingenieure, die Lösungen für aktuelle Herausforderungen erarbeiten können und die die Kompetenz für die Entwicklung ganz neuer Ideen und deren Umsetzung in Produkte mitbringen.

## Ein Blick ins Studium Systemtechnik

Die vorliegende Broschüre zeigt Ihnen einen Ausschnitt von Systemen und Teilsystemen, die im Rahmen der Abschlussarbeiten entwickelt, ver-

bessert oder ganz neu konzipiert sowie zum Teil als Prototypen realisiert wurden.

Es ist ein Ausblick auf die vielfältigen Aufgaben der beruflichen Praxis, die unsere Studierenden erwartet, und somit auf ein in vielen Bereichen interessantes Arbeitsleben.

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

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

Herzliche Gratulation allen Absolventinnen und Absolventen zum Abschluss des Studiums, auch im Namen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die die Studierenden in unserem Haus begleitet haben.

Danke, dass Sie an der OST am Campus Buchs und am Campus St.Gallen/Waldau studiert haben!

September 2023

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

# Überblick

## Referentinnen und Referenten

- 34 Prof. Laszlo Arato
- 19 | 35 Prof. Dr. Carlo Bach
- 15 | 36 | 41 Prof. Stefan Bertsch
- 37 | 38 Prof. Roland Egli
- 29 | 31 | 33 Prof. Dr. Norbert Frei
- 14 Prof. Dr. Hans Fritz
- 27 | 28 Prof. Dr. Urs Graf
- 44 Prof. Dr. Martin Gutsche
- 45 Prof. Dr. Markus Michler
- 20 | 25 Simon Nigsch
- 30 Prof. René Pawlitzek
- 22 | 26 Prof. Dr. Rainer Pickhardt
- 24 Prof. Dr. Tindaro Pittorino
- 23 Prof. Dr.-Ing. Matthias Scholer
- 12 | 16 | 18 | 40 Prof. Dr. Michael Schreiner
- 21 | 42 Dr. sc. Martin Stöck
- 43 Prof. Dr. Cord Henrik Surberg
- 39 Stefan Uhlar
- 13 | 32 Prof. Dr. Wolfgang Wiedemair
- 10 | 11 | 17 Prof. Dr. Christoph Würsch

# Überblick

## Korreferentinnen und Korreferenten

34	Prof. Dr. Carlo Bach	37	Prof. Dr. Stefan Uhlar
45	MSc David Bischof	22   26	Prof. Adrian Weitnauer
35	Prof. Dr. Martin Bünner	40	Claudio Wolfer
21	Rouven Christen	13	Prof. Dr. Christoph Würsch
41	Prof. Roland Egli		
17   19   32	Prof. Dr. Klaus Frick		
18	René Grabher		
15   20   25   36	Prof. Dr. Daniel Gstöhl		
44	Prof. Dr. Samuel Huber Lindenberger		
29   31   33	Patrick Joos		
24	Samuel Kranz		
23	Prof. Dr. Frieder Loch		
12   39	Dr. Marco Lüchinger		
42	Markus Markstaler		
38	Prof. Günter Nagel		
10	MSc Nicola Notari		
43	Dr. Noémie Ott		
28	Prof. René Pawlitzek		
11   30	Prof. Guido Piai		
14   16	Dr. Gerhard Rizzo		
27	Prof. Dr.-Ing. Matthias Scholer		

# Überblick

## Themen

### Computational Engineering

- 10 Data-Science im Spitzen-Skirennsport
- 11 Non-Contact Tidal Volume Estimation
- 12 Simulation der Strömung in Ventilen zur Ermittlung von Durchflussfaktoren
- 13 SonoKnife
- 14 Thermische Impedanztomographie für Batteriezellen
- 15 Thermische Simulation von Schienenfahrzeugen
- 16 Wärmetransport beim Pulverbeschichten
- 17 Windsurfalarm

### Computational Engineering, Elektronik, Ingenieurinformatik

- 18 Vollautomatische enge Synchronbewegung mit Low-Cost-Drohnen

### Computational Engineering, Photonik

- 19 Augmented Reality

### Elektronik

- 20 Bidirektionaler Buck/Boost Konverter mit GAN Technologie
- 21 Digital Twin eines elektrischen Kommunalfahrzeugs
- 22 Druckbasierte Regelung in einer Pipettenspitze eines Pipettierautomaten
- 23 Low Cost iloT
- 24 Mechatronik: Kabelgebundenes Drohnensystem
- 25 Multi-Topology-Board zur Konvertercharakterisierung

### Elektronik, Ingenieurinformatik

- 26 Intelligenter Regler für ein 30 kV-Hochspannungsmodul

### Elektronik, Ingenieurinformatik, Maschinenbau

- 27 Plattform für Farmrobotik

### Ingenieurinformatik

- 28 Automated Testing
- 29 Image Inpainting für Anwendungen im Bereich des terrestrischen Laser-scannings
- 30 IoT-Energiemonitor
- 31 Multiverse und Multi-User Design
- 32 Music Wizard
- 33 Spiel- und Trainingsumgebung für Skirennstrecken
- 34 Teilautomatisierte Fussballspielanalyse

### Ingenieurinformatik, Elektronik

- 35 Trackstar

### Maschinenbau

- 36 Energiesparender Ablufttrockner für die Industrie
- 37 Entwicklung einer Inline-Reinigungsanlage
- 38 Entwicklung einer teilautonomen Beschickungsanlage
- 39 FEM-Spannungsanalyse für Umformwerkzeuge
- 40 Hot-Disk für anisotrope Materialien
- 41 Low cost Früchtetrockner

Maschinenbau, Computational Engineering,  
Elektronik

- 42 AgriPV Controller – Entwicklung eines Prototyps

Maschinenbau, Mikrotechnik

- 43 SLM-Verarbeitung von AISi12 mit Kohlenstoffadditiven

Mikrotechnik

- 44 Schichtdickensensor zur Detektion von Schichtablagerungen in Prozesskammern

Photonik

- 45 Lichteinkopplung in eine Double-Clad Fiber

# Überblick

## Bachelors, Diplomandinnen und Diplomanden

28	Bollinger Michael	41	Lehmann Esther
42	Brauchli Damian	19	Lippuner Nando
14	Buchmann Christopher	23	Maier Alexander
43	Büchel Matias	44	Mayenknecht Raphael
20	Dombrowski Nicolai	30	Meile Philip
34	Dünser Lukas	13	Meyer Pascal
13	Dür Alexander	30	Mösli Philipp
15	Ender Simon	25	Naegeli Raphael Andrea
39	Graf Domenik	38	Obrist Marco
35	Graf Thierry Glen	43	Oehy Silvan
27	Heeb Thomas	10	Pleisch Marco
18	Hinnen Samuel	27	Randegger Micha
23	Huber Michael	35	Ravaioli Fabio
15	Hänny Severin	33	Rechsteiner Philippe
45	Jenny Niklas	44	Sameli Michiel
22	Jovanovic Nikola	17	Schaback Pascal
11	Kammerer Marvin	19	Scherrer Sebastian
41	Kilic Burak	31	Schmidli Pascal
21	Koch Sascha	43	Schrag Robin
40	Kranz Janick	36	Schreiber Noé
26	Kuratli Damian	38	Schwärzler Paul
29	Kurmann Fabian	36	Signer Christian
16	Lanthaler Sonja	18	Spescha Marco

- 41 Tanriverdi Betül
- 25 Vincenz Gian-Marco
- 45 Walder Simon Mattia
- 37 Weber Domenique
- 24 Wildhaber Mario
- 42 Wöcke Nils
- 12 Wüthrich Jan
- 32 Zehnder Ruth
- 21 Zimmerli Michael

# Data-Science im Spitzen-Skirennsport

## Entwicklung eines modellbasierten Key-Performance-Indikators für den Super-G

Diplomand



Marco Pleisch

**Ziel der Arbeit:** In dieser Bachelorarbeit wurde ein modellbasierter Key-Performance-Indikator (KPI) für den Schweizer Skirennsport zur genaueren Analyse von Trainings- oder Wettkampfläufen im alpinen Skirennsport entwickelt. Um zu beurteilen, wie gut ein Lauf einer Rennfahrerin auf jedem Streckenabschnitt ausgeführt wurde, wurden GPS-Daten von Trainings- und Wettkampfläufen (Trajektorien) vermessen und mit dem bestmöglichen Lauf einer virtuellen Rennfahrerin verglichen. Diese virtuelle Rennfahrerin basiert auf einem dynamischen mathematischen Modell einer Skifahrerin, welcher unter optimalen Bedingungen dieselbe Strecke abfahren würde. Die aufgenommenen Rohdaten des Geländemodells wurden von der HEIG-VD in Yverdon und die GPS-Daten der Läufe von der Firma Insiders.live SA in Lausanne vorverarbeitet. Die GPS-Daten der Trajektorien wurden mit 10 Hz aufgenommen. Da im alpinen Skirennsport allerdings Hundertstelsekunden über Sieg oder Niederlage entscheiden, werden diese Trajektorien erst mit einem Savitzky-Golay-Filter geglättet und anschliessend hochgesampelt.

**Vorgehen/Technologien:** Für die spätere Analyse wird die Trajektorie in Segmente unterteilt, sodass jedes Segment einer Kurve zugeordnet und unabhängig voneinander analysiert werden kann. So kann später genauer bestimmt werden, in welchem Streckenabschnitt die Skirennfahrerinnen und Skirennfahrer Verbesserungspotential besitzen.

Als Grundlage für die Berechnungen dient ein vereinfachtes physikalisches Modell, in welchem der Fahrer oder die Fahrerin als Punktmasse angenommen wird. Dabei wirken folgende Kräfte auf die Person:

- Die Gewichtskraft des Skifahrers oder der Skifahrerin ( $F_G$ ), welche in einen Teil tangential zur Trajektorie ( $F_V$ ) und einen Teil senkrecht zur Trajektorie ( $F_N$ ) aufgeteilt wird
- Die Zentrifugalkraft des Skifahrers oder der Skifahrerin in den Kurven ( $F_p$ )
- Die Reibkraft zwischen Ski und Piste ( $F_R$ )
- Der Luftwiderstand ( $F_L$ )

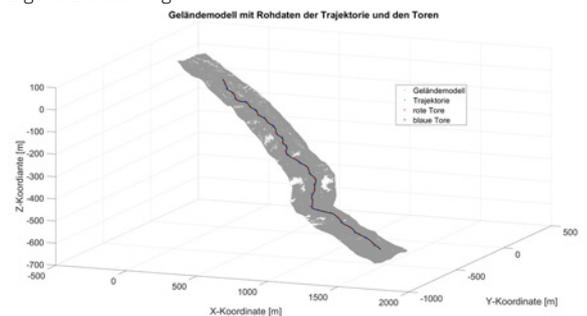
Unter Zuhilfenahme von Newton II wird eine Bewegungsgleichung hergeleitet. Durch Lösen dieser Differenzialgleichung kann die maximal mögliche Endgeschwindigkeit für jedes Segment berechnet werden.

**Fazit:** Das entwickelte Werkzeug ermöglicht es den Trainerinnen und Trainern vom Schweizer Skiverband, gezielt Streckenabschnitte zu identifizieren, welche von den Athletinnen und Athleten sehr gut oder schlecht gefahren wurden. Ausserdem gibt Ihnen die maximal mögliche Ausfahrtsgeschwindigkeit je Segment einen Anhaltspunkt, wie weit die Athletinnen und Athleten von der idealen Fahrt entfernt sind.

Mittels zusätzlicher Daten und einer Erweiterung der Reibmodelle für unterschiedliche Streckenabschnitte (Gleiten, Carven, Steilkurve etc.) kann das Modell der virtuellen Skifahrerin oder des virtuellen Skifahrers weiter verbessert und detailliert werden, sodass auch sehr inhomogene Streckenabschnitte besser beurteilt werden können.

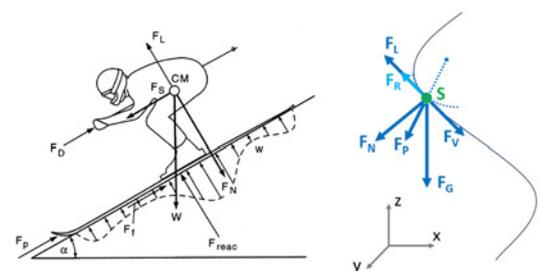
### Visualisierung der Strecke des Weltcup Super-G 2022 der Frauen in St. Moritz (Geländemodell, Trajektorie und Tore)

Eigene Darstellung



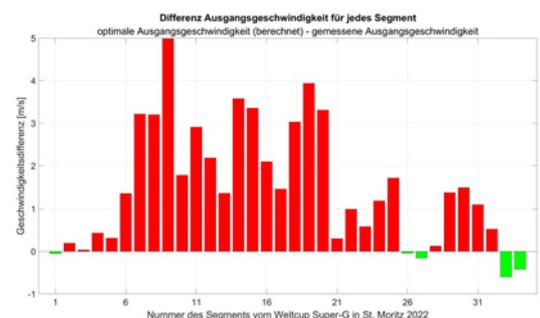
### Modell mit den Kräften $F_G$ , $F_V$ , $F_N$ , $F_p$ , $F_R$ und $F_L$

L: aus «The Physics of Skiing» (Lind und Sanders, 2004) R: MP



### Differenz zwischen optimaler Ausgangsgeschwindigkeit und gemessener Ausgangsgeschwindigkeit für eine Trajektorie des Weltcup Super-G

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Christoph Würsch

Korreferent

MSc Nicola Notari

Themengebiet

Computational Engineering

Projektpartner

Prof. Dr. Martin Bünner, ICE Institut für Computational Engineering

# Non-Contact Tidal Volume Estimation

Diplomand



Marvin Kammerer

**Einleitung:** Die wachsende Weltbevölkerung bringt diverse Herausforderungen für die Menschheit mit sich, wobei eine davon die Sicherstellung und Überwachung der Gesundheit eines jeden Menschen ist. Um in Zukunft menschliche Ressourcen in medizinischen Einrichtungen zu unterstützen, wird in dieser Bachelorarbeit untersucht, ob es mittels einer Tiefenbildkamera möglich ist, einen wichtigen Vitalparameter, das Atemvolumen eines Menschen, zu messen. Die Messung des Atemvolumens ist von zentraler Bedeutung für die Diagnose und Überwachung von Lungen- und Atemwegserkrankungen sowie für die Beurteilung der allgemeinen Atemgesundheit. In der Forschung und der medizinischen Praxis lassen sich zwei Hauptkategorien von Messmethoden unterscheiden: Kontaktmethoden und berührungslose Methoden. Kontaktmethoden liefern in der Regel präzisere Ergebnisse, erfordern jedoch direkten physischen Kontakt mit dem Patienten. Die Spirometrie stellt eine etablierte Kontaktmethode zur Diagnose und Verfolgung von Atemvolumen dar, die jedoch einige Einschränkungen aufweist. Für den Patienten kann die Spirometrie unangenehm sein, da sie aktive Mitarbeit erfordert und Atemmanöver verlangt, die für manche Personen herausfordernd sein können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass die Ergebnisse der Spirometrie durch die Kooperation und die physische Verfassung des Patienten beeinflusst werden.

**Ziel der Arbeit:** Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Anwendbarkeit und der Genauigkeit von Tiefenbildkameras für die berührungslose Messung des Atemvolumens. Dieses Ziel umfasst sowohl die technische Machbarkeit als auch die Evaluierung der Genauigkeit im Vergleich zur etablierten Methode, der Spirometrie. Die Entwicklung einer solchen berührungslosen Atemvolumenmessung könnte nicht nur die Patientenerfahrung verbessern, sondern auch die Präzision und die Effizienz von Atemdiagnose und Atemüberwachung erhöhen. Es sollen Machine-Learning-Modelle erarbeitet und bewertet werden, welche die Spirometer-Messdaten anhand der Tiefendaten vorhersagen. Um dies zu erreichen, wurden Messungen mit einer Tiefenbildkamera mit 15 freiwilligen Testpersonen am Campus Buchs der FH OST durchgeführt. Weitere Informationen über die Testpersonen, wie zum Beispiel Alter, Gewicht oder Brust- und Bauchumfänge, wurden ebenfalls aufgenommen, um individuelle Modelle zu generalisieren.

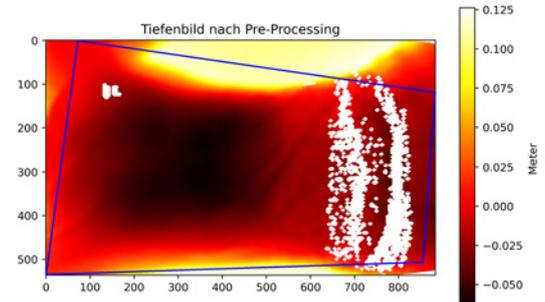
**Ergebnis:** Es konnte gezeigt werden, dass Korrelationen zwischen der Verformung des Oberkörpers bei einer Atmung und dem ein- oder ausgeatmeten Volumen vorhanden sind. Für jede der 15 Testperso-

nen wurden lineare Modelle erarbeitet, welche das Atemvolumen mit einem mittleren relativen Fehler von 12,9% vorhersagen können. Der mittlere absolute Fehler der linearen Modelle beträgt 0,15 Liter über dem gesamten Volumenbereich und 0,11 Liter für Atemvolumen einer Ruheatmung, welche bei den Testpersonen Werte von 0,3 bis 1,3 Liter angenommen hat. Globale Modelle, unabhängig von einer Testperson, schätzen das Atemvolumen etwas ungenauer, mit einem relativen Fehler von 13,72% und einem absoluten Fehler von 0,16 Liter. Informationen wie das Gewicht der Testperson oder deren sportliche Aktivität zeigten keinen grossen Einfluss auf die Modelle, erklärt durch die kleine Experimentalgruppe.

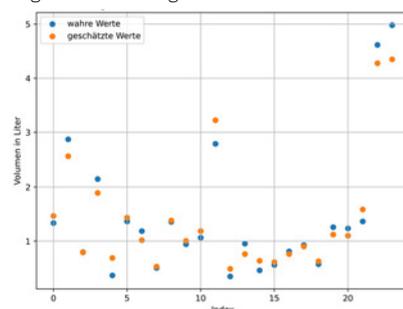
Messaufbau Campus Buchs  
ICE FH OST



Tiefenbild des Torsos einer Testperson und Torso-Schätzung  
Eigene Darstellung



Vorhergesagte Atemvolumen eines globalen Modells versus wahre Atemvolumen  
Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Christoph Würsch

Korreferent

Prof. Guido Piai

Themengebiet

Computational Engineering

Projektpartner

ICE Institut für Computational Engineering

# Simulation der Strömung in Ventilen zur Ermittlung von Durchflussfaktoren

Diplomand



Jan Wüthrich

**Einleitung:** Die Firma VAT Vakuumventile AG ist weltweit führend in der Herstellung von Hochleistungsvakuumventilen. Diese werden in verschiedenen Industriesektoren wie der Halbleiterfertigung, Solarzellenproduktion und Displayherstellung eingesetzt. Zum Produktportfolio von VAT gehören neben Vakuum-Transferventilen für die Be- und Entladung von Prozesskammern auch Regelventile und Eckventile. Diese dienen der gezielten Be- oder Entlüftung von Prozesskammern und ermöglichen damit eine präzise Regelung der strömenden Prozessgase. Eine zentrale Kenngrösse der Ventile ist der Durchflussfaktor, auch als Kv-Wert bekannt. Dieser definiert den Volumenstrom, welcher unter einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck durch das Ventil strömt. Der Kv-Wert kann damit als ein Mass für den Strömungswiderstand des Ventils betrachtet werden und ist entsprechend für die Auslegung und Dimensionierung von Vakuumsystemen von entscheidender Bedeutung.

Die experimentelle Bestimmung von Kv-Werten ist zwar in Normen geregelt, gestaltet sich jedoch bei kompressiblen Medien als sehr anspruchsvoll und zeitaufwendig. Insbesondere die Bestimmung des kritischen Differenzdruckverhältnisses, bei welchem eine Durchflussbegrenzung eintritt, erweist sich in der Praxis als schwierig. In der Literatur wurden daher etliche Beziehungen zur Berechnung von Kv-Werten veröffentlicht, welche die Bestimmung des kritischen Differenzdruckverhältnisses durch geeignete Annahmen und Vereinfachungen umgehen. Diese alternativen Ansätze liefern unterschiedliche Kv-Werte.

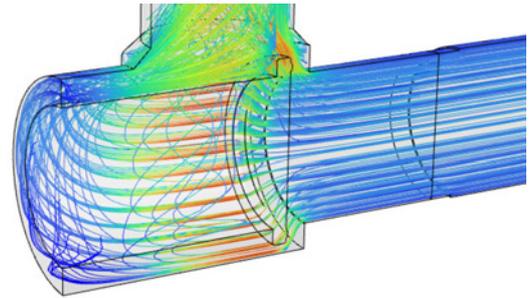
**Ziel der Arbeit:** Das Ziel dieser Bachelorarbeit besteht darin, die unterschiedlichen Ansätze zur Berechnung von Kv-Werten zu analysieren und miteinander zu vergleichen. Insbesondere soll ausgearbeitet und hervorgehoben werden, welche Annahmen und Vereinfachungen dem jeweiligen Ansatz zugrunde liegen. Ferner soll ein numerisches Modell entwickelt werden, welches als Grundlage für zukünftige CFD-Simulationen von Kv-Werten dient. Die mit dem Modell berechneten Ergebnisse sollen mit einem eigens entwickelten, normgerechten Messaufbau verglichen werden. Durch das Simulationsmodell soll zukünftig das Design von Ventilen frühzeitig strömungstechnisch optimiert werden, womit Zeit und Kosten eingespart werden können.

**Ergebnis:** Auf Basis einer mathematischen Herleitung konnten die Annahmen und Vereinfachungen, welche den unterschiedlichen Ansätzen zur Berechnung von Kv-Werten zugrunde liegen, identifiziert werden. Ferner ist es gelungen, ein Simulationsmo-

dell für die Berechnung der Strömung in Ventilen zu entwickeln. Mit Hilfe des Simulationsmodells können sämtliche Kennwerte, welche für die Berechnung des Kv-Werts benötigt werden, computergestützt bestimmt werden. Dies ermöglicht es, Kv-Werte zukünftig mit Hilfe von CFD-Simulationen zu ermitteln. Ebenso kann mit Hilfe des Simulationsmodells die Geometrie der Ventile bereits in einer frühen Entwicklungsphase strömungstechnisch optimiert werden.

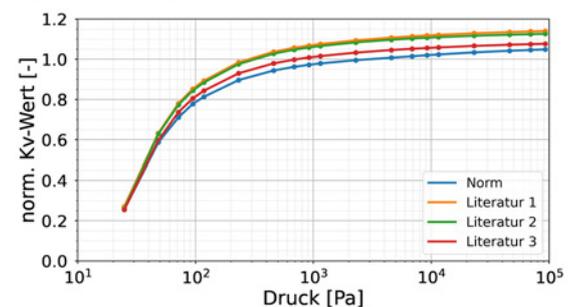
## Visualisierung der Strömungslinien der Geschwindigkeit von Luft durch das simulierte Ventil

Eigene Darstellung



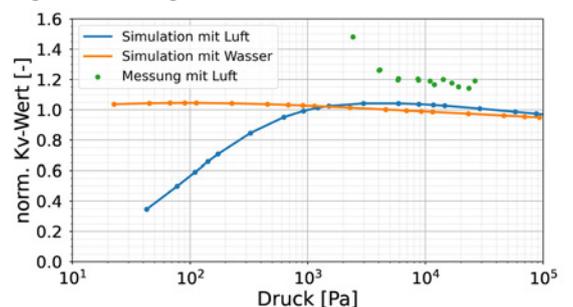
## Vergleich der normierten Kv-Werte von den verschiedenen Berechnungsformeln der Normen und Literaturen

Eigene Darstellung



## Vergleich der normierten Kv-Werte von Simulation und Messung

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Michael Schreiner

Korreferent

Dr. Marco Lüchinger

Themengebiet  
Computational Engineering

Projektpartner  
VAT Vakuumventile,  
9469 Haag, SG

## Chirurgie mit fokussiertem Ultraschall

### Diplomanden



Alexander Dür



Pascal Meyer

**Einleitung:** In der Medizin wird Ultraschall (US) neben zahlreichen, bereits etablierten diagnostischen Anwendungen seit einigen Jahren auch für nicht invasive (keine Operationswunde) chirurgische Anwendungen eingesetzt. Dabei wird seine Wellennatur genutzt, um Ultraschallenergie aus zahlreichen, separat ansteuerbaren Emittlern (Phased Array Transducer) mittels kontrollierter Interferenz im gewünschten Zielpunkt zu bündeln. Dieser fokussierte Ultraschall (FUS) erlaubt durch innere Reibung im Fokuspunkt eine punktgenaue Erhitzung mit resultierender lokaler Zerstörung (thermische Ablation) von Gewebe (z. B. Tumor, Zyste) tief im Körperinneren. Allerdings ist die durch Wärmeleitung verursachte sekundäre Schädigung von umliegendem Gewebe bei der Operationsplanung zu berücksichtigen. Diese Arbeit verfolgt das Ziel, die phasengekoppelte Ansteuerung des Ultraschallsystems so zu berechnen, dass die Gewebeablation durch fokussierten Ultraschall trotz lokal variierender Gewebeparameter möglichst punktgenau im Zielgebiet erfolgt und dass durch Setzen mehrerer Zielpunkte eine ausgedehnte Region behandelt werden kann.

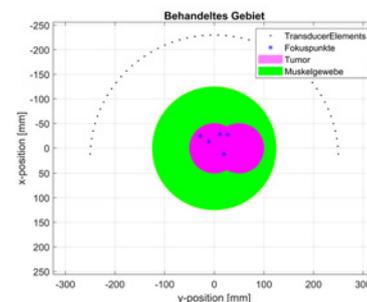
**Vorgehen:** Zu diesem Zweck wurde eine Simulationsumgebung zur Untersuchung der Genauigkeit der Gewebeablation durch FUS erstellt. Hierfür mussten die Ausbreitung von Ultraschallwellen in heterogenem Gewebe, die lokale US-Energiedeposition und die daraus folgende Wärmeausbreitung in Gewebe gekoppelt modelliert werden. Mit Hilfe des Modells können verschiedene chirurgische Eingriffe mittels FUS simuliert werden. Eine passende Plattform dafür stellt die auf MATLAB basierende Toolbox k-Wave dar, welche die Simulation von zwei- und dreidimensionalen heterogenen Strukturen unter Ausnutzung der Rechenleistung von GPUs erlaubt. Bogenförmig angeordnete Ultraschall-Transducer wurden mit Signalen unterschiedlicher Phasenlage angeregt, um die Bündelung der Ultraschallwellen in verschiedenen Zielpunkten ausserhalb des geometrischen Fokus zu untersuchen. Die Bestimmung der Phaseeinstellung der Transducer-Elemente für eine optimale Fokussierung in einem vorgegebenen Zielpunkt erfolgt mit Hilfe einer vorangehenden Time-Reversal-Simulation. Dabei wird die hypothetische Ausbreitung des Ultraschallsignals rückwärts in der Zeit vom Fokuspunkt zum Transducer simuliert und es wird die dabei registrierte Phase an der Position des Ultraschall-Elements für das Anregungssignal verwendet. Des Weiteren wird die Gewebeerhitzung durch den fokussierten Ultraschall modelliert, indem die Temperatur basierend auf dem Wärmeeintrag im Gewebe über die Zeit berechnet wird. Dabei werden auch die lokal unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der heterogenen Gewebestruktur (Abb. 1) sowie die ther-

mische Diffusion berücksichtigt. Die lokale Gewebeschädigung wird durch die über die Zeit kumulierte thermische Dosis CEM43 (Abb. 2) berechnet. Bei Überschreiten eines für jede Gewebeart individuellen, bekannten CEM43-Schwellwerts ist die thermische Schädigung so gross, dass das betroffene Gewebe abstirbt (Abb. 3).

**Fazit:** Die entwickelte Simulationsumgebung ermöglicht Simulationen der punktuellen Erhitzung und der resultierenden Gewebeablation durch fokussierten Ultraschall in heterogenen Gewebestrukturen. Eine korrekte Strahlbündelung mittels Time-Reversal-Simulation konnte in geometrisch komplexen Strukturen nachgewiesen werden. Die Nutzung der GPU-Fähigkeit von MATLAB k-Wave ermöglichte kurze Rechenzeiten und die Ausweitung auf ein 3D-Simulationsgebiet.

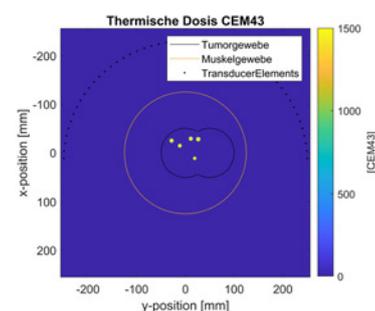
**Abbildung 1: Aufbau des zu behandelnden Gebiets**

Eigene Darstellung



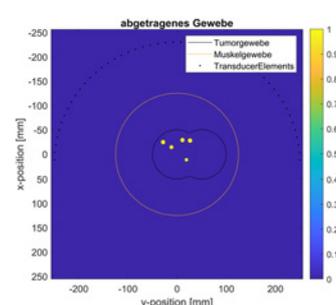
**Abbildung 2: Thermische Dosis CEM43**

Eigene Darstellung



**Abbildung 3: Abgetragenes Gewebe**

Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Wolfgang Wiedemair

**Korreferent**  
Prof. Dr. Christoph Würsch

**Themengebiet**  
Computational Engineering

# Thermische Impedanztomographie für Batteriezellen

## Mathematisches Verfahren zur tomographischen Bestimmung des ortsabhängigen Wärmeleitkoeffizienten von Batteriezellen

Diplomand



Christopher Buchmann

**Einleitung:** Die thermische Impedanztomographie ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem die innere Struktur von Objekten charakterisiert werden kann. Dabei werden ausschliesslich Messungen am Rand des Objektes durchgeführt. Durch die gezielte Einführung und Ausströmung von Wärme an äusseren Messstempeln entstehen unterschiedliche Wärmeströme innerhalb des Objekts. Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Materialien variieren die Wärmeströme in den Messungen. Dadurch entstehen an den Messstempeln am Rand unterschiedliche Temperaturen, welche analysiert werden können. Mit der stationären Diffusionsgleichung, den zusätzlichen Randbedingungen sowie den Messungen, können die unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten örtlich bestimmt werden. Die thermische Impedanztomographie bietet eine Alternative zur elektrischen Impedanztomographie, wobei Wärmeleitfähigkeiten im Inneren des Objekts bestimmt werden. Anwendungen sind in allen Bereichen möglich, in welchen die Wärmeleitfähigkeit von Bedeutung ist, z. B. im medizinischen Bereich sowie in der Batterietechnik.

**Vorgehen:** In der vorliegenden Arbeit werden die Wärmeleitfähigkeiten im Inneren anhand von Messungen und der stationären Diffusionsgleichung bestimmt. Zunächst werden aus der stationären Diffusionsgleichung zwei Problemvarianten aufgestellt. Dies ist notwendig, da COMSOL bestimmte Matrizen zur Verfügung stellt. Die Problemvarianten werden diskretisiert und in eine Zielfunktion mit den Messergebnissen gebracht. Am Schluss werden die passenden Wärmeleitfähigkeiten mit dem Newton-Verfahren gesucht. Mit MATLAB LiveLink und COMSOL werden die hergeleiteten Schritte programmiert und simuliert. Am Schluss wird mittels realer Messungen das Verfahren umgesetzt und überprüft.

**Ergebnis:** Die Simulationen zur Überprüfung des Skriptes wurden erfolgreich durchgeführt. Die vorgegebenen Wärmeleitfähigkeiten der virtuellen Objekte wurden bei der Simulation erreicht. Es wurden Messungen an einem inhomogenen Alublock sowie an einem homogenen Kupferblock durchgeführt. Diese Messungen wurden mit den simulierten Daten verglichen und zeigten ähnliche Ergebnisse. In zukünftigen Simulationen und Messungen können unterschiedliche Auflösungen der thermischen Impedanztomographie untersucht werden. Ausserdem wäre es interessant, eine Problemstellung mit Wärmequellen im Objekt zu untersuchen.

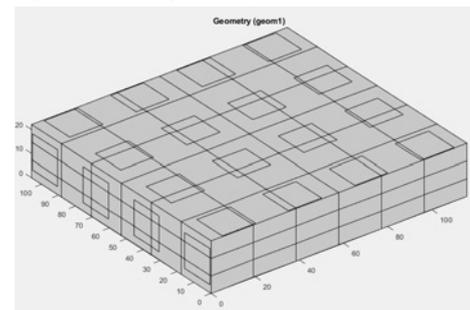
Referent  
Prof. Dr. Hans Fritz

Korreferent  
Dr. Gerhard Rizzo

Themengebiet  
Computational  
Engineering

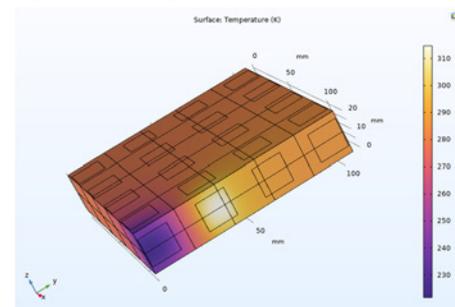
### Geometrie mit Messstempel in Form von Rechtecken auf der Oberfläche

Eigene Darstellung



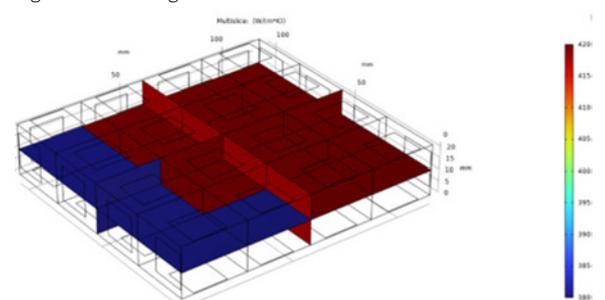
### Temperaturverlauf bei Messungen mit Wärmeströmen auf zwei Messstempeln

Eigene Darstellung



### Wärmeleitfähigkeiten im Inneren des Messobjektes

Eigene Darstellung



# Thermische Simulation von Schienenfahrzeugen

## Entwicklung der Simulationssoftware Thermo TrainAnalyzer für thermische Bilanzen an einem Zugwaggon der RhB

### Diplomanden



Simon Ender



Severin Hänny

**Problemstellung:** Bereits seit 175 Jahren befördert die Rhätische Bahn erfolgreich Personen und Güter über das anspruchsvolle Schienennetz durch die Gebirgstäler des Kantons Graubünden. Bei der Sicherstellung des Wohlbefindens der Passagiere bei allen Wetterlagen, ist die thermische Regelung der Fahrzeuginnenräume eine grosse Herausforderung. Bis anhin waren keine eigenen thermischen Modelle zur Berechnung vorhanden, weshalb die Kompetenz und die Auslegung von Wärme- und Kälteanlagen bei den Zulieferern lagen. Das Ziel dieser Arbeit ist, ein eigenständiges und bedienerfreundliches Simulationsprogramm für die thermischen Vorgänge in einem Schienenfahrzeug zu erstellen. Dies soll genutzt werden, um Offerten von Herstellern zu überprüfen und eigene Abschätzungen zu Wärmebilanzen während Sommer- und Wintermonaten zu prognostizieren.

**Vorgehen:** In der vorliegenden Arbeit wurden die thermischen Einflüsse auf ein Schienenfahrzeug eruiert. Mithilfe einer umfassenden Literaturrecherche wurden diese durch mathematische Formeln beschrieben. Mit Python wurden die einzelnen Wärmebeiträge bilanziert. Die ersten Ergebnisse wurden mit einer einfachen Computersimulation überprüft. Um weitere Erkenntnisse zu gewinnen, wurde eine Temperaturmessung an einem Zugwaggon durchgeführt. Zusätzlich wurden die Wärmeeinträge anhand einer 3D-Nachbildung des Messfahrzeuges mit einem Simulationsprogramm virtuell nachgebildet. Mithilfe von Detailanalysen konnten so die signifikanten Parameter für das Programm identifiziert werden. Die intuitive Bedienbarkeit der Software wurde mit einer grafischen Benutzeroberfläche generiert.

**Ergebnis:** Durch das Programm ist es nun möglich,

Zugwaggonmodelle diverser Varianten zu erfassen. Damit können Analysen wie zu Heiz- oder Kühlleistung bei bestimmten Arbeitspunkten, eine Jahressimulation und Parametervariationen durchgeführt werden. Zusätzlich können Einflüsse bei Anpassung von Werkstoff- und Geometrieigenschaften verdeutlicht werden. In einem weiterführenden Schritt könnte die Robustheit durch die Ermittlung noch unbekannter Parameter gesteigert werden.

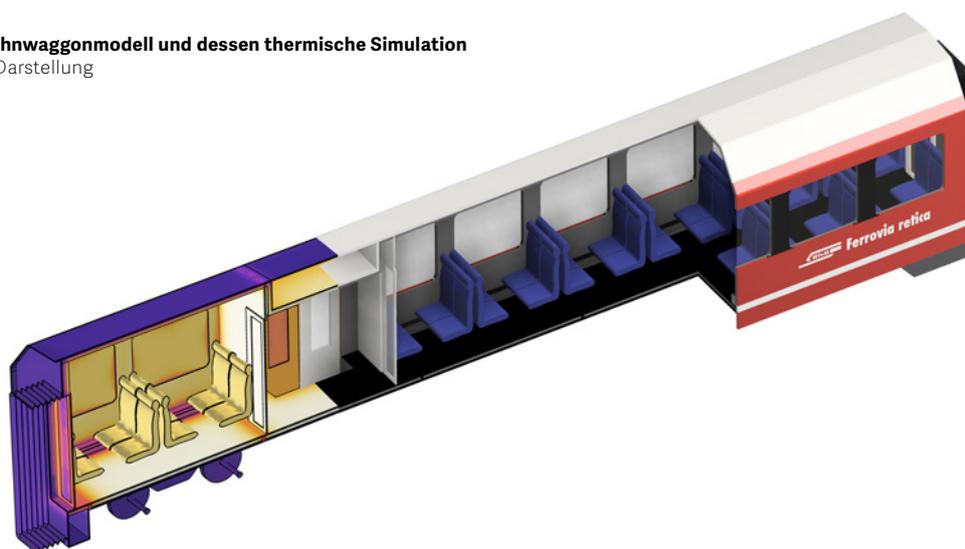
### Grafische Benutzeroberfläche zur Bestimmung der Kühl-/Heizleistung für bestimmte Zustände Eigene Darstellung



### Grafische Benutzeroberfläche für eine Jahressimulation der Wärmebilanzen eines Schienenfahrzeugs Eigene Darstellung



### Eisenbahnwaggonmodell und dessen thermische Simulation Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Stefan Bertsch

Korreferent  
Prof. Dr. Daniel Gstöhl

Themengebiet  
Computational  
Engineering

Projektpartner  
Rhätische Bahn,  
Landquart, GR

# Wärmetransport beim Pulverbeschichten

## Numerische und experimentelle Untersuchung und Analyse des Wärmetransportes beim Pulverbeschichten

Diplomandin



Sonja Lanthaler

**Einleitung:** Bei einer Pulverbeschichtung von Stahlteilen wird zunächst eine Schicht Pulver auf das Bauteil appliziert. Anschliessend wird das Pulver in einem beheizten Ofen für eine festgelegte Zeit zum Vernetzen gebracht und bildet die Beschichtung. Für die Qualität der Beschichtung ist der Vernetzungsgrad ausschlaggebend. Der erforderliche Vernetzungsgrad wird erreicht, wenn das Pulver einer vom Pulverhersteller vorgegebenen Temperatur über eine vorgegebene Zeit ausgesetzt war. Der Vernetzungsgrad kann nicht zerstörungsfrei bestimmt werden.

In dieser Arbeit wird ein einfacher Ersatzkörper untersucht, der zusammen mit den originalen Bauteilen pulverbeschichtet wird. An ihm kann anschliessend die Qualität der Beschichtung ermittelt werden. Dazu ist es notwendig, dass der Ersatzkörper eine ähnliche wärmetechnische Charakteristik wie die realen Bauteile besitzt. Der Temperaturverlauf an der Oberfläche hängt nicht nur von der Temperatur im Ofen ab, sondern auch von Grösse, Form, Oberfläche, Masse, Temperaturverteilung im Ofen sowie weiteren Parametern.

**Vorgehen:** Es wurde ein variierbarer Prüfkörper hergestellt. Mit mehreren Messungen in einem Heissluftofen wurde die Oberflächentemperatur des Prüfkörpers in verschiedenen Zusammenstellungen aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Messungen wurden mit FEM-Simulationen analysiert. Damit wurden wichtige Parameter, welche die thermischen Eigenschaften des Prüfkörpers definieren, bestimmt. Mit diesen Erkenntnissen wurde mit FEM das relevante thermische Verhalten von dem Prüfkörper mit drei repräsentativen Geometrien von realen Bauteilen verglichen.

**Ergebnis:** Mit dem Prüfkörper ist es prinzipiell möglich, das Beschichtungsverhalten auf Bauteilen repräsentativ nachzubilden. In der Arbeit wurde aufgezeigt, in welchen Fällen der Prüfkörper in der Lage ist, die Oberflächentemperatur der Bauteile zu reproduzieren. Relevant sind vor allem die geometrischen Abmessungen der Bauteile sowie das Verhalten der Luftströmung im Ofen.

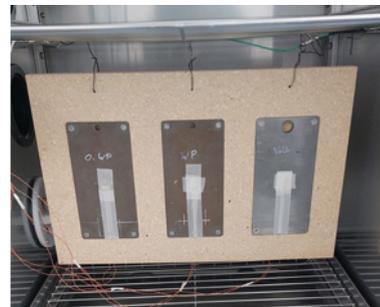
### Prüfkörper

Eigene Darstellung



### Messaufbau

Eigene Darstellung

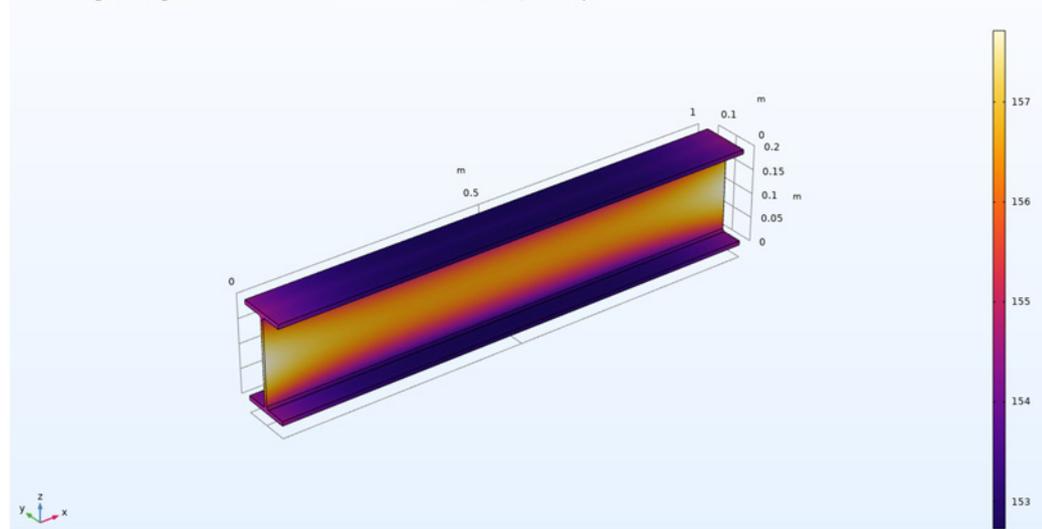


### I-Profil

Comsol Multiphysics®

H=0.2, B=0.1, t\_w=0.0056, t\_f=0.0085, r=0.012 Time=20 min

Surface: Temperature (degC)



Referent

Prof. Dr. Michael Schreiner

Korreferent

Dr. Gerhard Rizzo

Themengebiet

Computational Engineering

Projektpartner

Forster Profilsysteme AG, 9320 Arbon, TG

# Windsurfalarm

## Ein Machine-Learning-basiertes Alarmierungssystem für die Wassersport-Community am Walensee

Diplomand



Pascal Schaback

**Ziel der Arbeit:** Ziel der Arbeit war es, eine Web-Applikation zu entwickeln, damit Windsurfer:innen ihren persönlichen Benachrichtigungsdienst für den Walensee konfigurieren können. Dazu wurden bestehende Wettermodelle evaluiert und Machine-Learning-(ML)-Modelle entwickelt, um Windböen in den nächsten drei Stunden vorhersagen zu können.

**Vorgehen:** Für das Trainieren der Modelle wurden die Wetterstationsdaten der letzten zwei Jahre im Umkreis von 50 km um den Walensee verwendet. Weitere wichtige Merkmale wie das bekannte Föhn- oder Bisen-Diagramm wurden in die Daten integriert.

Für die Vorverarbeitung der Daten, die Feature-Selektion, das Fitten verschiedener Learner und deren Hyperparameteroptimierung wurde eine Machine-Learning-Pipeline in Python entwickelt.

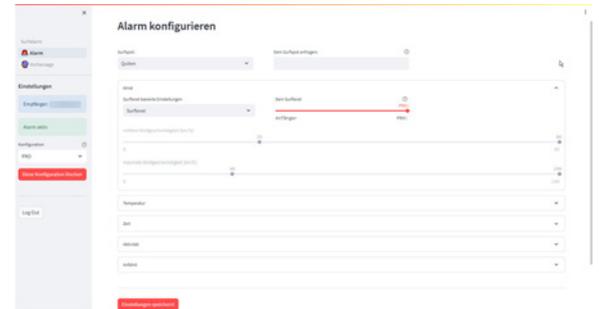
**Ergebnis:** Die entwickelten Modelle können Windböen in Quinten über einen Prognosehorizont von drei Stunden besser vorhersagen als ARIMA oder SWISS1K, welche sich als die besten numerischen Wettermodelle herausgestellt haben. Die Fehler der entwickelten Modelle liegen bei etwa 6 km/h (MAE) bzw. 9 km/h (RMSE). Auf der bestehenden Datenlage konnten auch mit komplexen neuronalen Netzen wie Long Short-Term Memory (LSTM) oder AR-LSTM kaum nennenswerte Verbesserungen erzielt werden.

Mit einer interaktiven Web-Applikation können Windprognosen abgerufen und persönliche Alarmer konfiguriert werden. Die Verifizierung der Telefonnummer als auch das Versenden der Windalarmer erfolgen via Telegram. Aktuelle Wetterdaten werden über die API

von Meteomatics AG geladen und neue Prognosen werden alle zehn Minuten aktualisiert.

**Über die Web-Applikation können Alarmierungsdienste mit den bevorzugten Surfbedingungen konfiguriert werden.**

Eigene Darstellung



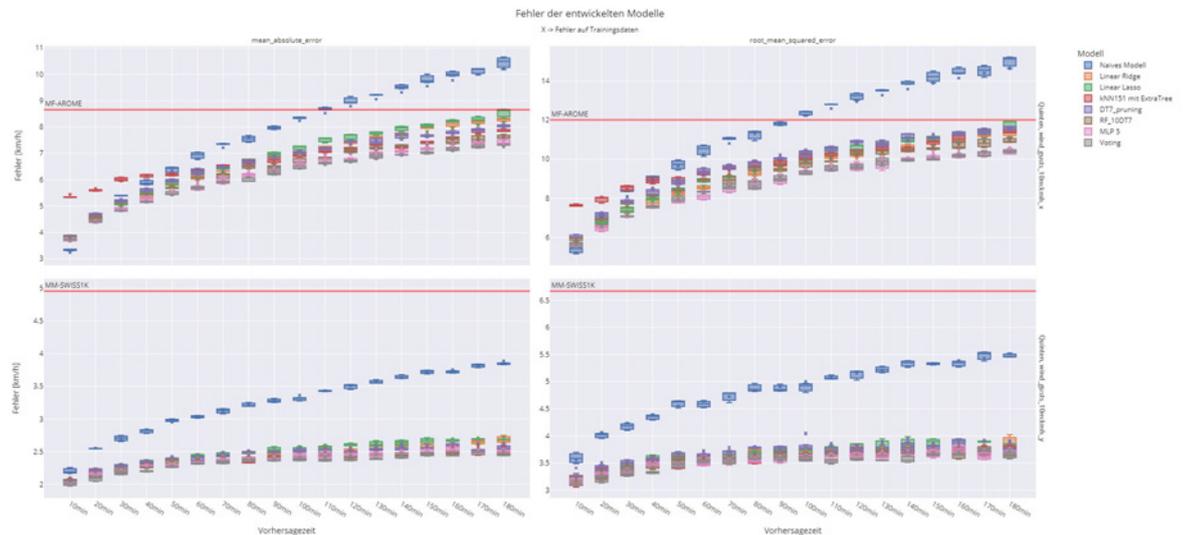
**Es können aktuelle Vorhersagen der entwickelten Modelle abgerufen werden.**

Eigene Darstellung



**Die entwickelten Modelle sind besser als die besten numerischen Wettermodelle ARIMA oder SWISS1K.**

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Christoph Würsch

Korreferent

Prof. Dr. Klaus Frick

Themengebiet  
Computational  
Engineering

Projektpartner  
ICE Institut für  
Computational  
Engineering

# Vollautomatische enge Synchronbewegung mit Low-Cost-Drohnen

Entwicklung und Test eines präzisen Regelungssystems für synchronisierte Bewegungen mittels Low-Cost-Technologie

## Diplomanden



Samuel Hinnen



Marco Spescha

**Einleitung:** Die vorliegende Arbeit konzentriert sich darauf, ein System zu entwickeln, das es einer autonomen Drohne ermöglicht, einer ferngesteuerten Drohne präzise zu folgen. Der Fokus liegt dabei auf der Aufrechterhaltung einer konstanten Distanz zwischen den Drohnen. Systeme dieser Art finden Anwendung in Szenarien der Luftbetankung von Flugdrohnen oder bei Formationsflügen bei Flugshows.

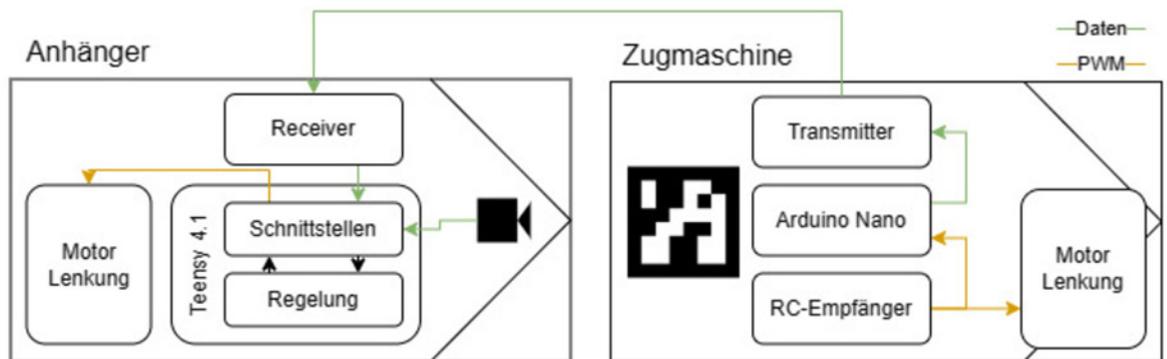
**Vorgehen/Technologien:** Um die Regelungsmechanismen vorab zu prüfen, wurde ein Simulink-Modell aufgebaut. So konnte auch verifiziert werden, dass die Informationen des Kamerasystems und die Übermittlung der Geschwindigkeit der Zugmaschine für die Regelung ausreichen. Anschliessend wurde der Demonstrator aufgebaut und die Regelungsalgorithmen wurden getestet. Der Demonstrator besteht aus einem Modell eines Lastwagens und einem Lastwagenanhänger.

Die Regelung setzt sich aus zwei Hauptteilen zusammen. Der eine ist dafür verantwortlich, dass die Deichsel des Anhängers immer auf die Anhängerkupplung der Zugmaschine ausgerichtet ist. Während der andere darauf abzielt, den Abstand zwischen den Drohnen konstant zu halten.

**Ergebnis:** Mit der Durchführung der Tests hat sich herausgestellt, dass hochauflösendes Feedback für eine präzise Regelung unabdingbar ist. Damit kann das Spiel in der Mechanik kompensiert werden und ermöglicht ein schnelles und präzises Reagieren auf Abweichungen zwischen dem Soll- und dem Ist-Zustand.

## Aufbau der Hardware

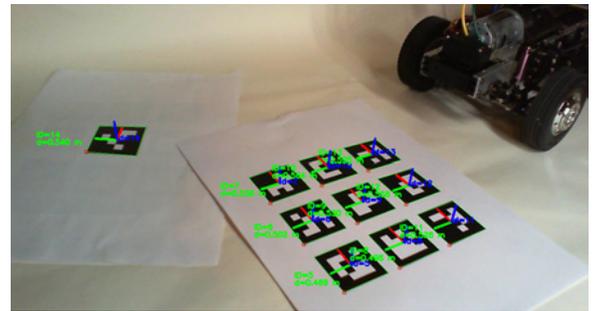
Eigene Darstellung



Der Demonstrator veranschaulicht die Grundlagen zu synchronen Bewegungen und bietet wertvolle Einblicke für zukünftige Verbesserungen und Weiterentwicklungen eines solchen Systems.

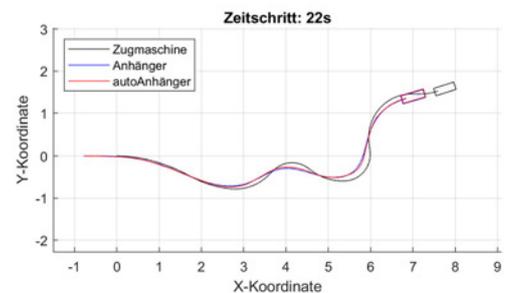
## Beispiel der verwendeten ArUco-Marker-Detektion

Eigene Darstellung



## Resultate der Simulink-Simulation

Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Michael Schreiner

**Korreferent**  
René Grabher

**Themengebiet**  
Computational Engineering, Elektronik, Ingenieurinformatik

# Augmented Reality

## Übertragung der Beleuchtungssituation auf synthetische Objekte

### Diplomanden



Sebastian Scherrer



Nando Lippuner

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, Verfahren zu entwickeln, um die Beleuchtungssituation und die Kameraposition einer realen Szene zu ermitteln. Die Informationen werden benötigt, um ein virtuelles Objekt mittels Augmented Reality in die Szene einzubetten. Das Objekt darf in der realen Szene nicht künstlich wirken. Um die Informationen der realen Szene zu erhalten, werden ausgewählte Verfahren verwendet und miteinander verglichen.

**Vorgehen:** Für die Ermittlung der Kameraposition werden die Detektionsmuster Schachbrett und ArUco verwendet. Mithilfe der Python-Bibliothek OpenCV und eines der Detektionsmuster werden die Rotation und die Translation der Kamera bestimmt.

Zur Bestimmung der Beleuchtungssituation werden zwei Verfahren angewendet. Im ersten Verfahren wird mit einer 360-Grad-Kamera ein Umgebungsbild erzeugt, in dem die Lichtquelle gesucht wird. Im zweiten Verfahren wird ein neuronales Netz erstellt, welches anhand der realen Szene die Beleuchtungssituation ermittelt.

Die Informationen der realen Szene und der verwendeten Kamera werden dem Raytracing-Programm POV-Ray übergeben, welches das Bild des virtuellen Objekts erzeugt. Das virtuelle Bild wird mittels Alpha-Blending in einer realen Szene dargestellt.

**Ergebnis:** Die Ermittlung der Kameraposition mit ArUco-Markern liefert präzise Orientierungen des Objekts. Im Gegensatz dazu weisen Schachbrettmuster leichte Ungenauigkeiten in der Orientierung des Objekts auf und ermöglichen lediglich eine Rotation des Objekts um 180 Grad. Beide Detektionsmuster zeigen geringfügige Abweichungen in Bezug auf die Position der Kamera auf, sodass das virtuelle Objekt kleiner als in der Realität erscheint.

Die Detektion der Lichtposition mithilfe einer 360-Grad-Kamera führt zu plausiblen Ergebnissen mit einer Abweichung von maximal 9 Grad. Dennoch beschränkt sich dieses Verfahren darauf, die Lichtposition aus der Perspektive der 360-Grad-Kamera zu ermitteln. Durch den Einsatz eines neuronalen Netzes können nur trainierte Kamerapositionen verwendet werden. Dieses Verfahren erzielte kein zufriedenstellendes Ergebnis.

Fazit dieser Arbeit ist, dass aus allen untersuchten Verfahren eine Kombination aus ArUco-Markern und 360-Grad-Kamera die besten Resultate liefert.

### Referent

Prof. Dr. Carlo Bach

### Korreferent

Prof. Dr. Klaus Frick

### Themengebiet

Computational Engineering, Photonik

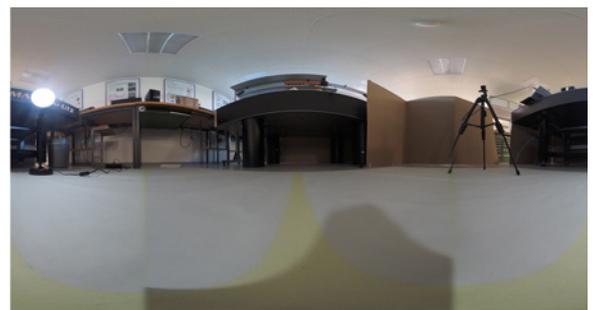
### Versuchsaufbau mit Kamera und Lampe

Eigene Darstellung



### Bild der 360-Grad-Kamera

Eigene Darstellung



### Vergleich gerendertes Objekt und reales Objekt

Eigene Darstellung



# Bidirektionaler Buck/Boost Konverter mit GAN Technologie

Diplomand



Nicolai Dombrowski

**Einleitung:** Die Nachfrage nach immer leistungsfähigeren Technologien nimmt stetig zu. Gefragter denn je sind die Wide-Band-Gap-Halbleitertechnologien in der Leistungselektronik, da sie fähig sind, den hohen Spannungen zu trotzen bei geringen Verlusten. Nebst dem bereits gut erforschten Siliziumcarbid (SiC) erobert auch der Halbleiter Galliumnitrid (GaN) immer mehr den Markt. Im Vergleich zu SiC ist dieser Halbleiter noch eine junge Technologie, welche noch nicht vollständig ausgereift ist. Für die Firma Regatron soll diese Halbleitertechnologie nun genauer erforscht werden und deren Performance untersucht werden. Von besonderem Interesse sind dabei die entstehenden Schaltverluste und die Durchlassverluste. Mit steigender Schaltfrequenz verringert sich die Grösse der Induktivität oder des Transformators bei Konvertern. Wer am Markt konkurrenzfähig bleiben will, muss die Geräte kompakter und effizienter bauen. Bei der neuesten TopCon-Serie (G5) der Firma Regatron sind SiC-Halbleiter im Einsatz. Mit dieser Arbeit sollen Erkenntnisse in Bezug auf die GaN-Technologie erlangt werden, um einen Vergleich zur eingesetzten SiC-Technologie aufzeigen zu können.

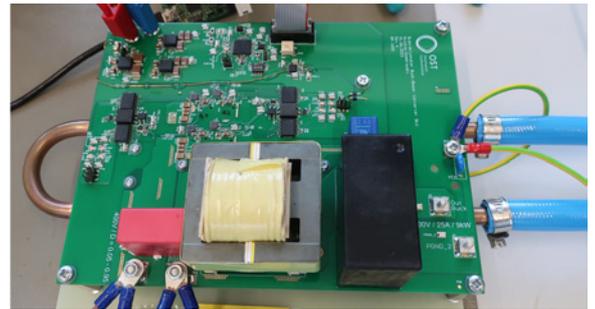
**Vorgehen:** Für diese Untersuchung soll ein Design für einen bidirektionalen Buck/Boost-Konverter entwickelt werden. Eine ähnliche Topologie wird bereits im G5 verwendet, wurde jedoch mit der SiC-Technologie realisiert. Zum Umfang der Arbeit gehörten u. a. die Berechnung des Konverters, eine Simulation zur Abschätzung der Temperaturen und Verluste, die Entwicklung eines Kühlkonzeptes, die Erstellung von Schema und Layout und anschliessende Messungen zur Verifikation von Simulation und Berechnungen. Für das Design wurde ein GaN-HEMT gewählt, welcher eine Direct-Drive-Konfiguration verwendet und einen integrierten Gate-Treiber besitzt sowie über ein Feedbacksignal der Junction-Temperatur verfügt. Anhand dieses Feedbacksignals wurde ein Ansatz ausgearbeitet, um die Schalt- und Durchlassverluste zu ermitteln. Dadurch entfällt die Strommessung bei den HEMTs, wodurch im Design keine weiteren parasitären Elemente beigefügt werden. Bereits im Vorhinein wurde klar, dass das Layout die Schlüsselkomponente für minimale Verluste und optimale Performance der Halbleiter darstellt.

**Ergebnis:** Es konnte erfolgreich ein bidirektionaler Buck/Boost-Konverter entwickelt werden, welcher mit einer Leistung von 9 kW betrieben werden kann und einen Wirkungsgrad von >99% aufweist. Durch ein optimales Layoutdesign konnte die Induktivität der kritischen Schlaufe unter 2 nH gebracht werden. Dadurch betrug die Überschwingweite am Switch Node nur 24%. Die abgeschätzten Verluste aus dem Simulationsmodell weichen nicht stark von den

gemessenen ab, wodurch das Modell eine gute Näherung darstellt. Die Anforderung, dass sich das PCB nicht stärker als 50 °C erwärmt, konnte nur bedingt erfüllt werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass mit der GaN-Technologie eine gute Performance erreichbar ist und der Halbleiter für die Firma Regatron eine mögliche Alternative zu SiC ist.

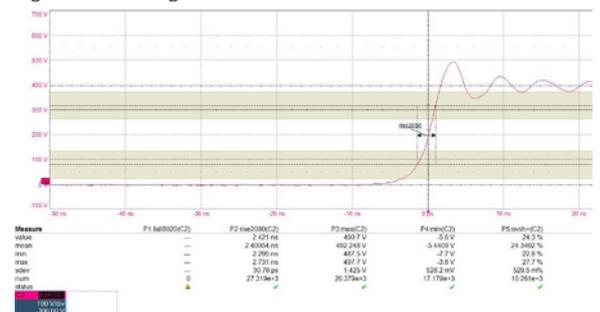
## Bidirektionaler Buck/Boost-Konverter

Eigene Darstellung



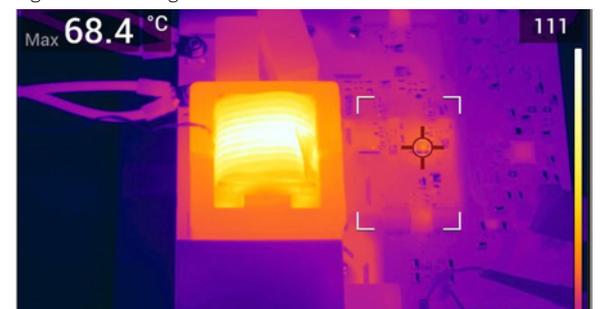
## Messung am Switch Node bei (400 V, 22,5 A, D = 0,5)

Eigene Darstellung



## Temperaturentwicklung nach 20 min Dauertest (400 V, 22,5 A, D = 0,5)

Eigene Darstellung



Referent  
Simon Nigsch

Korreferent  
Prof. Dr. Daniel Gstöhl

Themengebiet  
Elektronik

Projektpartner  
Regatron, Rorschach, SG

# Digital Twin eines elektrischen Kommunalfahrzeugs

## Diplomanden



Sascha Koch



Michael Zimmerli

**Einleitung:** Die Elektrifizierung von Fahrzeugen stellt ein aktuelles Thema dar, auf welches sich unterschiedliche Bereiche der Technik fokussieren. Längst werden nicht nur Personalfahrzeuge elektrisch betrieben, sondern auch im Bereich der Nutzfahrzeuge wird immer mehr auf diese fortschrittliche Antriebstechnologie gesetzt. Solche Umrüstungen weichen aufgrund von den unterschiedlichen Zusatzaggregaten der Fahrzeuge von der Standardumrüstung ab. Dies bedeutet, dass zusätzliche Faktoren massgebend sind, welche es beispielsweise bei der Auslegung einer Batterie und ihres Kühlsystems zu beachten gilt. Nicht selten nimmt die Entwicklung solcher Fahrzeuge deshalb sehr viele Ressourcen in Anspruch. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein digitales Abbild (Digital Twin) des von der Firma Durot Electric GmbH entwickelten elektrischen Strassenputzfahrzeugs realisiert. Als Ziel wird der Aufbau eines grundlegend digitalen Modells definiert, welches in nachfolgenden Projekten von Durot Electric vereinfacht auf andere Fahrzeuge von ähnlicher Bauweise angepasst werden kann. Mit diesem Modell sollen zukünftige Entwicklungsprojekte beschleunigt werden.

**Vorgehen:** Die Simulation wurde in der Umgebung von MathWorks Simulink realisiert. Die halbgrafische Programmierumgebung ermöglicht es, das Modell anhand einer grundlegend physikalischen Struktur aufzubauen. Die Simulationsstruktur wird dabei stark an die vorgängig erarbeitete Item Definition angelehnt. Das Modell gliedert sich in Systeme, die aus den Grundkomponenten des Fahrzeugs bestehen. Mit allen zusammengesetzten Systemen wurde ein Electric Vehicle geschaffen, mit welchem reale Fahrzyklen simulativ abgebildet werden können. In vielen Bereichen mussten für die Simulation Vereinfachungen gewählt werden, welche das Systemverhalten aber trotzdem in der gewünschten Präzision abbilden können. Die wichtigsten Elemente der Simulation sind der Batteriespeicher, der Antriebsstrang und die thermische Betrachtung aller Komponenten. Zudem werden auch alle Nebenaggregate abgebildet, welche als zusätzliche Verbraucher die Batterie belasten können. Neben dem Aufbau der Simulation stellte die Parametrisierung der Komponenten eine wichtige Aufgabe dar. Dafür konnten viele Daten aus den bereits bekannten Herstellerangaben entnommen werden. Vor allem im thermischen Bereich waren diese Daten hingegen eher spärlich vorhanden. Dies führte dazu, dass das Modell stufenweise mit Messdaten aus dem realen Fahrzeug angepasst und optimiert werden musste.

**Ergebnis:** Zum Abschluss wurde das Modell getestet und als Ganzes mit den vorhandenen Messdaten

des realen Fahrzeugs verglichen. Dies führte zur Erkenntnis, dass die Systemcharakteristik der einzelnen Komponenten und Systeme gut abgebildet werden kann. Bei den thermisch betrachteten Elementen wie dem Antriebsmotor werden sogar sehr gute Ergebnisse erreicht. Zudem konnten einige Faktoren mit grossem Einfluss auf das Systemverhalten des elektrischen Antriebs entdeckt werden. Der aktuelle Stand der Simulation zeigt ein sich gut annäherndes Abbild des echten Fahrzeugs und kann für weitere Simulationen oder Entwicklungen in diesem Bereich eingesetzt werden. Es eignet sich beispielsweise in Entwicklungsprojekten von elektrischen Fahrzeugen oder der Analyse von neuen Kühlkonzepten.

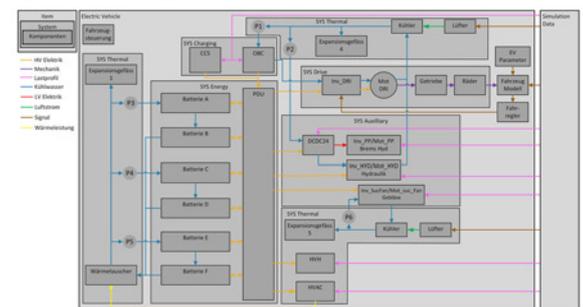
## Beispiel der simulierten elektrischen Strassenputzmaschine

Eigene Darstellung



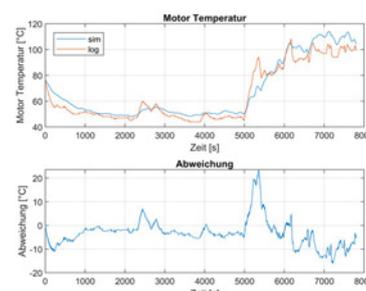
## Item Definition Digital Twin

Eigene Darstellung



## Vergleich gemessene und simulierte Motortemperatur

Eigene Darstellung



Referent  
Dr. sc. Martin Stöck

Korreferent  
Rouven Christen

Themengebiet  
Elektronik

# Druckbasierte Regelung in einer Pipettenspitze eines Pipettierautomaten

## Über das Aspirieren von Flüssigkeiten verschiedener Viskositäten

### Diplomand



Nikola Jovanovic

**Ausgangslage:** Elektronische Pipetten ermöglichen präzises Dosieren und Transportieren von Flüssigkeiten im Mikroliterbereich. In der biologischen Forschung werden sie eingesetzt, um gezielte Reaktionen zwischen zwei Flüssigkeiten hervorzurufen. Die Ansauggeschwindigkeit wird bei elektronischen Pipetten des Industriepartners INTEGRA Biosciences AG manuell nach Flüssigkeitsklassen voreingestellt.

Eine konsistente Dosierung erfordert daher, dass für jede Klasse stets dieselbe Geschwindigkeit gewählt wird. Jedoch zeigt sich ein Problem, wenn diese Geschwindigkeit zu hoch angesetzt ist und nicht an das dynamische Verhalten der Flüssigkeit angepasst ist. Bei hochviskosen Flüssigkeiten tritt eine Trägheit auf, wodurch diese bei zu hohen Ansauggeschwindigkeiten nicht unmittelbar in die Spitze fließen können. Während der Zeit, die benötigt wird, um diese Trägheit zu überwinden, erfolgt keine Flüssigkeitsansaugung. Stattdessen entsteht eine Ausdehnung der Luftsäule und ein steigender Unterdruck in der Spitze. Obwohl keine Flüssigkeit nachströmt, steuert die Pipette den Ansaugvorgang weiterhin basierend auf der voreingestellten Geschwindigkeit, was zu ungenauen Dosierungen führt.

**Vorgehen:** Die Pipette des Industriepartners erfordert Anpassungen an Hard- und Firmware, um das gewünschte Ziel zu erreichen.

Für die Implementierung einer Druckregelung in der Firmware werden geeignete Reglerparameter benötigt. Hierfür wurden experimentell die maximale Ansauggeschwindigkeit und der damit einhergehende Druck für verschiedene Referenzflüssigkeiten ermittelt. Es wurde festgestellt, bis zu welchem Punkt die Flüssigkeiten der Ansauggeschwindigkeit folgen, ohne eine übermäßige Dekomprimierung der Luftsäule in der Pipette zu verursachen. Der Ansaugvorgang wird auf Grundlage dieser Erkenntnisse geregelt, um den Druck in der Spitze konstant zu halten.

Grundlage zur Bestimmung der Reglerparameter bilden eine Systemanalyse sowie eine Simulation der Regelung. Zusätzlich wurden Flüssigkeitsklassen erstellt. Durch weitere Versuche mit den identifizierten Parametern wurden Abweichungen zwischen Simulation und Realität korrigiert.

**Ergebnis:** Die vorliegende Bachelorarbeit zeigt auf, wie durch eine druckbasierte Regelung in einer elektronischen Pipette das manuelle Einstellen der Geschwindigkeit entfällt. Bei hochviskosen Flüssigkeiten kann die Ansauggeschwindigkeit verringert werden, damit der Druck in der Pipette nicht abfällt

und konstant bleibt. Eine genaue Dosierung ist somit gewährleistet.

**Elektronische Pipette D-ONE des Industriepartners**  
Integra Biosciences AG



**Durch eine druckbasierte Regelung entfällt das manuelle Einstellen der Ansauggeschwindigkeit**

Integra Biosciences AG



**Eintauchen einer Spitze in die Flüssigkeit vor einem Ansaugvorgang**

Integra Biosciences AG



### Referent

Prof. Dr. Rainer Pickhardt

### Korreferent

Prof. Adrian Weitnauer

### Themengebiet

Elektronik

### Projektpartner

INTEGRA Biosciences AG, 7205 Zizers, GR

# Low Cost iloT

## Assistenzsystem zur Mitarbeiterunterstützung und Mensch-Maschine-Interaktion

### Diplomanden



Alexander Maier



Michael Huber

**Einleitung:** Es wurde ein Mitarbeiterassistenzsystem entwickelt, das Unterstützung bei der Handmontage eines Produktes bietet. Das System ist als kostengünstiger Stand-alone-Arbeitstisch realisiert, der auch Retrofit-tauglich ist. Zur Unterstützung der Arbeitskraft sind nach Schwierigkeitsgrad unterteilte, selbsterklärende Montagepläne, die im Benutzerinterface visualisiert sind, für den Zusammenbau des Produkts vorhanden. Damit bietet der Arbeitstisch durch seine einfache und intuitive Bedienung ein unkompliziertes Anlernen von ungeübten Montagearbeitern. Für erfahrene Mitarbeiter bietet das Assistenzsystem den Vorteil, dass im Falle von häufig ändernden Montageanleitungen und Produktvarianten der Überblick bewahrt wird. Zur Unterstützung der Arbeitskraft ist eine Kameraprüfung integriert, die bei der Produktmontage die korrekte Durchführung der Arbeitsschritte überprüft. Dadurch entstehen bei komplexeren Montagen weniger Fehler und die Qualitätssicherung wird erhöht.

**Vorgehen:** Die Umsetzung des Systems umfasst drei Teilbereiche: die mechanische Konstruktion, die elektrische Auslegung und die Programmierung der Steuerungstechnik und der Arbeitsvisualisierung. Um der Anforderung geringer Kosten gerecht zu werden, wurden ausser des RFID-Schreib-/Lesegerätes und der Kamera Low-Cost-Produkte verwendet. Das Herzstück des Systems bildet ein Raspberry Pi 4b, der als Soft-SPS fungiert. Dieser verwendet das CODESYS-Laufzeitsystem, mit dem die Steuerung der Sensorik und der Aktorik programmiert wurde. Als Kommunikationsprotokoll wird PROFINET verwendet. Die Sensorik besteht aus Reflexionslichtschranken, einem Taster, einer Kamera mit Merkmalerkennungssoftware und einem RFID-Schreib-/Lesekopf. Als Aktorik werden Leuchtstreifen angesteuert, die unter den Warenbehältern angebracht sind und so die korrekte Entnahme signalisieren. Die Einbindung der Sensorik ins System wurde mit einem PROFINET-Buskoppler realisiert. Die Ansteuerung der Kamera sowie des RFID-Sensors geschieht über PROFINET. Zur Visualisierung der Montageanleitungen wurde ein Touch-Monitor verwendet. Die Darstellung der Dashboards wurde in Node-RED programmiert. Mit iterativem Vorgehen wurde das System fortlaufend mechanisch sowie softwaretechnisch angepasst und verbessert.

**Ergebnis:** Das erstellte Assistenzsystem wurde einer Nutzerstudie unterzogen. Dabei wurde der Nutzergruppe die Verwendung des Arbeitsplans zur Montage des OST-Gadgets vorgeschrieben und anschliessend wurden Fragen zu unterschiedlichen Aspekten wie Gestaltung der Visualisierung oder Benutzerfreundlichkeit des Systems gestellt. Das Feedback

der Teilnehmer war überwiegend positiv und das Mitarbeiterassistenzsystem erfreute sich über eine hohe Benutzerakzeptanz.

Das Ergebnis ist ein funktionsfähiges iloT-System, das durch die Kombination von Kameraprüfung, Raspberry Pi und Pick-by-Light-System mit intuitiver Benutzeroberfläche einzigartig ist und die gestellten Anforderungen umfassend erfüllt. Ein weiterer Nutzen des Arbeitstisches ist die Möglichkeit einfach und schnell neue Arbeitspläne für andere Produkte zu realisieren. Schlussendlich zeigt ein Vergleich mit Systemen gleicher Art, dass durch den Einsatz von Low-Cost-Betriebsmitteln eine Kostenreduktion um den Faktor vier erreicht wurde, was das System vor allem für industrielle Anwendungen interessant macht.

### OST-Gadget

Ostschweizer Fachhochschule



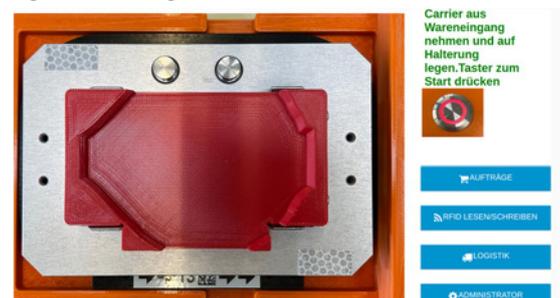
### Arbeitstisch

Eigene Darstellung



### Benutzervisualisierung

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr.-Ing. Matthias Scholer

### Korreferent

Prof. Dr. Frieder Loch

Themengebiet  
Elektronik

# Mechatronik: Kabelgebundenes Drohnensystem

Diplomand



Mario Wildhaber

**Ziel der Arbeit:** In der heutigen Zeit ist die Drohnentechnologie zu einem effizienten Werkzeug in vielen Bereichen geworden. Trotz ihrer vielfältigen Anwendungen sind akkubetriebene Drohnen in ihrer Flugzeit begrenzt. Das Hauptziel dieser Arbeit war es, ein System zu entwickeln, welches die Flugzeit von Drohnen durch eine direkte Energieversorgung über ein Kabel verlängert, um die bestehenden Herausforderungen und Begrenzungen von akkubetriebenen Drohnen zu überwinden.

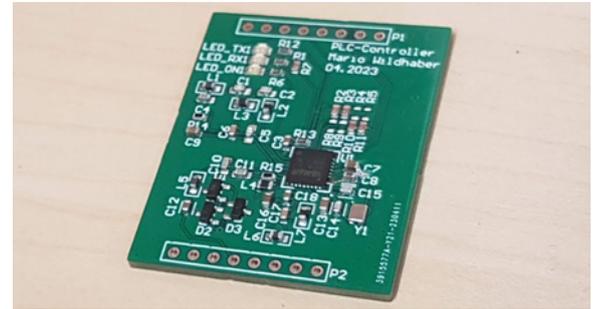
**Vorgehen/Technologien:** Zur Lösung dieses Problems wurde ein Teilsystem entwickelt, welches aus einer Bodenstation und einer Schnittstelle für die Drohne besteht. Die Kommunikation zwischen diesen beiden Elementen wurde durch die Implementierung der Power-Line-Communication (PLC)-Technologie ermöglicht. Die Bodenstation verfügt über eine Kabelwinde, die ein 100 m langes Kabel aufgewickelt hat. Ein Netzteil wandelt die Netzspannung in eine DC-Spannung von 400 V um. Diese Spannung wurde so hoch gewählt, um sicherzustellen, dass die Leistungsverluste im Kabel klein gehalten werden können. Zusätzlich dazu wurde auf der Drohnen Seite eine Platine mit einem hocheffizienten DCDC-Konverter entwickelt. Diese Platine gewährleistet, dass die Drohne stets mit der optimalen Betriebsspannung versorgt wird.

**Ergebnis:** Das Ergebnis dieser Bachelorarbeit ist ein System, welches die Fähigkeit besitzt, eine Drohne für eine deutlich verlängerte Zeit in der Luft zu halten. Durch die direkte Energieversorgung über ein Kabel wird die bisherige Flugzeitbegrenzung von akkubetriebenen Drohnen überwunden. Trotz dieser

Vorteile ist zu beachten, dass die Kabelverbindung die Beweglichkeit der Drohne einschränkt.

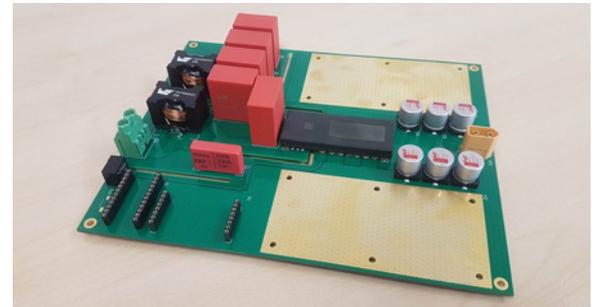
## PLC-PCB

Eigene Darstellung



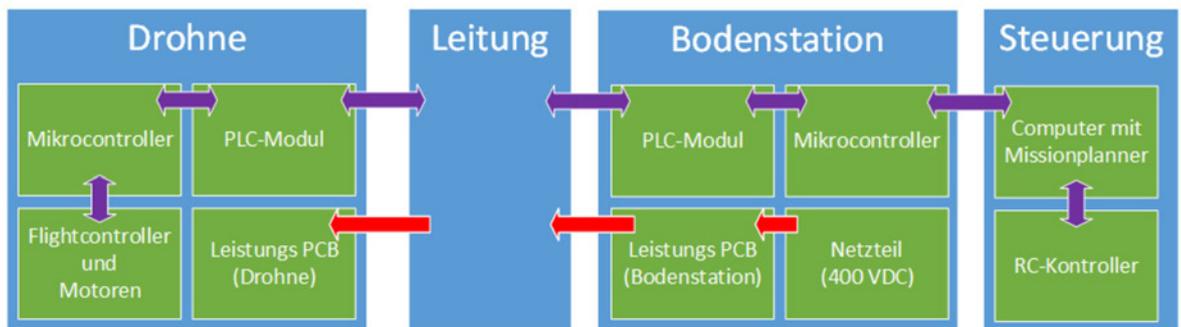
## Leistungs-PCB

Eigene Darstellung



## Blockschaltbild

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Tindaro  
Pittorino

Korreferent  
Samuel Kranz

Themengebiet  
Elektronik

# Multi-Topology-Board zur Konvertercharakterisierung

## Entwicklung eines Evaluation-Boards für den Leistungselektronikunterricht

### Diplomanden



Raphael Andrea Naegeli



Gian-Marco Vincenz

**Aufgabenstellung:** Im Studiengang Systemtechnik mit Vertiefung in Elektronik und Regelungstechnik werden im Themengebiet der Leistungselektronik die Konverter-Grundtopologien (Buck-, Boost-, Forward-Konverter) gelehrt und die Lehrinhalte jeweils durch eine Laborübung ergänzt. Dies soll den Studierenden helfen, die gelernte Theorie in der Praxis zu verifizieren. Bis anhin wurde dazu ein Test-Board verwendet, mit welchem durch Umstecken von Adapterplatten bzw. Verdrahten mittels Schraubverbindungen die entsprechende Grundtopologie konfiguriert und anschliessend charakterisiert werden konnte. Beim Einsatz dieses Test-Boards konnte erhebliches Verbesserungspotential aufgezeigt werden. Einerseits entsprechen die eingesetzten Bauteile nicht mehr dem heutigen Stand der Technik, wodurch typische parasitäre Effekte eines Konverters schlecht zu erkennen sind. Andererseits könnte mit einem intuitiv zu bedienenden Board Zeit eingespart werden, die den Studierenden für das Verstehen der Messungen und der Konverter-Grundtopologien zugutekommt. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines Ersatzes für das alte Test-Board. Das Multi-Topology-Board soll die Spezifikationen, welche durch die bereits bestehenden Laborübungen gegeben sind, einhalten oder erweitern. Der Fokus liegt dabei auf einer einfachen Konfiguration, einer intuitiven Bedienung sowie dem Einsatz von neuen Bauelementen.

**Vorgehen:** Nach dem Ermitteln der Anforderungen an die Hardware wurde ein Konzept für das neue Multi-Topology-Board erarbeitet. Anschliessend wurden ein Schema designt, geeignete Bauteile ausgewählt, das Layout zur Fertigung des Boards erstellt und die Firmware für den auf dem Board eingesetzten Mikrocontroller entworfen. Nach der Bestückung und Inbetriebnahme des Boards wurden verschiedene Messungen zur Validierung der Funktionalität und zur Verifikation der geforderten Spezifikationen durchgeführt. Es wurde insbesondere geprüft, ob die in den bestehenden Laborübungen zu vermittelnden Erkenntnisse auch auf der neuen Hardware zu erkennen sind.

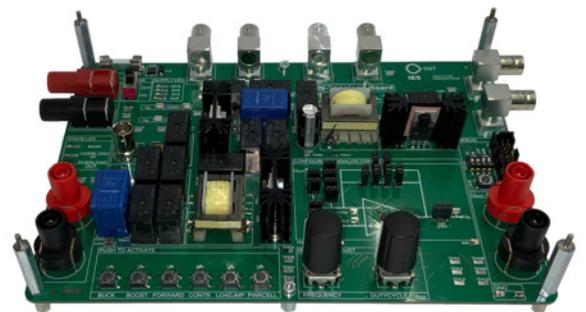
**Ergebnis:** Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein funktionsfähiger Prototyp des Multi-Topology-Boards. Die Messungen zeigten, dass mit dem neuen Board nicht alle parasitären Effekte der Konverter zufriedenstellend dargestellt werden können. Einerseits verursacht das Schalten des Leistungsschalters Störungen, welche sich auf verschiedene Messgrößen auswirken. Andererseits führt die aufgrund der Relaischaltung nicht optimale Leiterbahnenführung zu unerwünschten Schwingungen auf den Messleitungen. Für den Einsatz im Unterricht sind demzu-

folge noch geringfügige Änderungen notwendig. Durch die Umschaltung der Topologien mittels Relais wurde eine einfache Konfigurierbarkeit realisiert. Die Relais verbinden dabei die von den drei Topologien gemeinsam genutzten Leistungsbauteile. Für die Bedienung des Boards wurden Taster und Drehimpulsgeber vorgesehen, deren Betätigung vom Mikrocontroller erfasst wird. Eine Rückmeldung an die bedienende Person erfolgt mittels LED. Die für die Laborübungen benötigten Messgrößen wurden geeignet skaliert und auf BNC-Buchsen geführt.

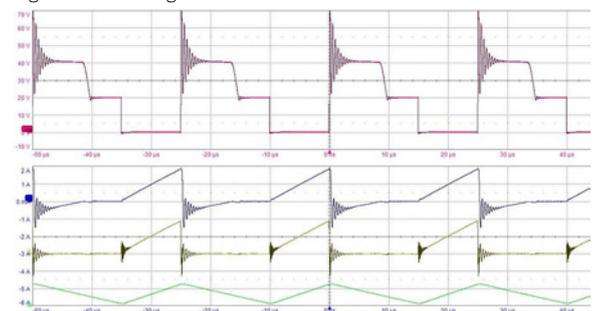
Das veraltete Test-Board mit seinen steckbaren Adapterplatten  
Eigene Darstellung



3-in-1: Das neue Multi-Topology-Board mit den Konvertertopologien Buck, Boost und Forward  
Eigene Darstellung



Darstellung einer Messung der Strom- und Spannungsverläufe im Forward-Konverter  
Eigene Darstellung



Referent  
Simon Nigsch

Korreferent  
Prof. Dr. Daniel Gstöhl

Themengebiet  
Elektronik

# Intelligenter Regler für ein 30 kV-Hochspannungsmodul

Diplomand



Damian Kuratli

**Einleitung:** Feinstaub, insbesondere Partikel mit einem Durchmesser kleiner als  $10 \mu\text{m}$ , beeinträchtigen die Gesundheit von Menschen und Tieren und müssen daher aus Rauchgasen herausgefiltert werden. Der Einsatz des OekoTube der Firma OekoSolve bietet eine vielversprechende Lösung zur Verbesserung der Luftqualität und dient dem Schutz der Gesundheit. Er eignet sich für Wohnraumfeuerungen, wie Cheminée oder Kaminofen, die mit Pellets, Hack-schnitzeln oder Stückholz betrieben werden. Das Filtersystem nutzt den Corona-Effekt im Gasgemisch. Durch die Hochspannung zwischen Sprüh- und Niederschlagselektrode werden die Rauchpartikel ionisiert und im elektrischen Feld beschleunigt und sie setzen sich an der Zylinderwand ab. Durch die bevorzugte Verwendung der negativen Corona, charakterisiert durch das negative Potential der Gleichspannung an der Sprühelektrode, lassen sich höhere Spannungen und ein grösserer Stromfluss erzeugen. Dies steigert wiederum die Filterleistung. Motivation dieser Arbeit ist, trotz rauer Betriebsbedingungen mit Hilfe eines innovativen Konzepts die Hochspannungsregelung in Bezug auf Ripple und Lastsprungverhalten zu verbessern.

**Problemstellung:** Die zentrale Aufgabe dieses Projekts besteht darin, einen optimierten Spannungsregler zu entwickeln, der die Stabilität der Betriebsspannung gewährleistet. Alternativ soll eine Stromregelung oder Stromüberwachung erarbeitet werden. Die Modellierung und Simulation des Hochspannungskonverters ist Teil der Aufgabe und ermöglicht eine grundlegende Analyse der Systemcharakteristik. Basierend auf den Simulationsergebnissen wurden Hardwaretests durchgeführt, um das Verhalten des Systems zu untersuchen und einen Regelalgorithmus für einen digitalen Signalprozessor (DSP) zu entwickeln.

**Ergebnis:** Es stellte sich heraus, dass das Verhalten der Regelstrecke linearisiert werden muss, damit das System im gesamten Arbeitsbereich stabil und mit gleicher Regelgüte arbeitet. Die nicht lineare Kennlinie zwischen der Frequenz als Stellgrösse und der Spannung respektive dem Strom als Regelgrösse wurde ermittelt und zur Linearisierung mit ihrer Umkehrfunktion multipliziert. Aus der Analyse der Sprungantwort geht nun ein verzögerndes Verhalten erster Ordnung ( $PT_{1/sub}$ ) der Regelstrecke hervor, deren Zeitkonstante trotz wechselnder Last und unterschiedlicher Arbeitsbereiche sich nur unwesentlich ändert. Insbesondere die Ausregelzeit des Spannungsreglers konnte deutlich unter den festgelegten Richtwert gesenkt werden, wodurch eine schnellere Reaktion auf Laständerungen erreicht wurde.

Die Integration einer Stromüberwachung ergänzt den Spannungsregler und ermöglicht eine Störungskorrektur innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne. Sowohl der Spannungsregler als auch die Stromüberwachung weisen einen geringen Ripple von nur wenigen Bits auf, was die Stabilisierung der Betriebsspannung respektive des Betriebsstroms unterstreicht und wodurch jetzt ein Betrieb mit einem konstanten elektrischen Feld ermöglicht wird.

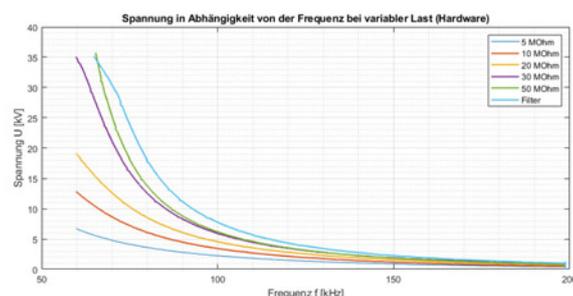
## Aufbau des OekoTube-Inside

Partikelabscheider Heizerschwaben



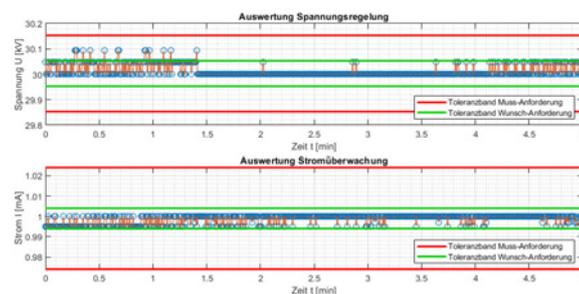
## Spannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei variabler Last

Eigene Darstellung



## Getrennte Auswertung der Spannungsregelung oder der Stromüberwachung bei einer Last von 30 mΩ

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Rainer  
Pickhardt

Korreferent  
Prof. Adrian Weitnauer

Themengebiet  
Elektronik,  
Ingenieurinformatik

Projektpartner  
OekoSolve AG, 8889  
Mels, SG

# Plattform für Farmrobotik

## Konzipieren, Entwerfen und Bauen von Antriebsmodulen

### Diplomanden



Thomas Heeb



Micha Randegger

**Problemstellung:** Die Open-Source-Initiative «OFA: Open Field Automation» der Berner Fachhochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (BFH-HAFL) hat zum Ziel, die Entwicklung von robotischen Systemen für die Landwirtschaft zu beschleunigen und simpler sowie kosteneffizienter zu gestalten. Dafür soll ein Entwicklungsbaukasten geschaffen werden – als Grundlage für zukünftige Systeme.

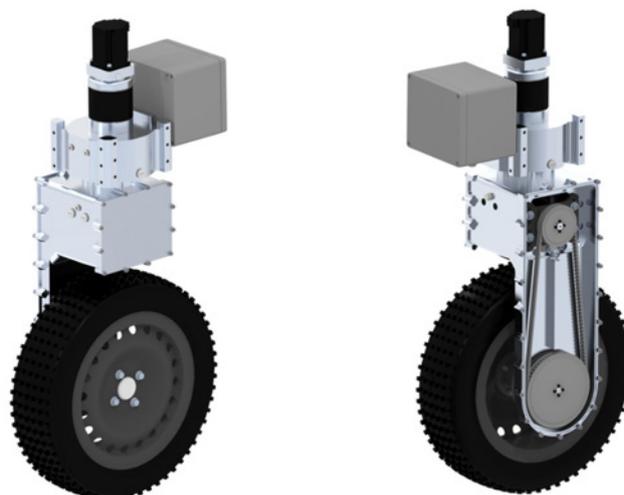
Die Ostschweizer Fachhochschule (OST) entwickelt als eine der involvierten Forschungseinrichtungen einen Bestandteil dieses Baukastens. Es soll eine Maschine (nachfolgend «Rover» genannt), welche Werkzeuge und Werkstücke autonom oder per Fernsteuerung transportiert, erarbeitet werden.

**Ziel der Arbeit:** In dieser Bachelorarbeit werden Antriebsmodule sowie deren Steuerung als Teil des Rovers entwickelt. Diese werden als modulare Komponenten konzipiert, sodass ein Fahrzeug je nach Anforderung mit verschiedenen Kombinationen davon ausgerüstet werden kann. Die Antriebsmodule werden konzipiert, konstruiert und gefertigt. Der Betrieb davon erfordert einen Testaufbau inkl. einer Stromversorgung und Steuerung. Eine Computing-Plattform, Motorentreiber und die Sensorik werden evaluiert, beschafft und in Betrieb genommen. Für die Steuerung der Module wird die Software unter Verwendung eines Linux-Betriebssystems mit Echtzeitfähigkeit geschrieben.

**Ergebnis:** Ein Modul wurde bis auf die Montage des Radnabengetriebes und des Rades vollständig gefertigt und erfolgreich in Betrieb genommen, ein zweites teilweise. Der Bordcomputer wurde aufgesetzt, Programme und Schnittstellen wurden getestet. Die

### Design des Antriebsmoduls

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Urs Graf

### Korreferent

Prof. Dr.-Ing. Matthias Scholer

### Themengebiet

Elektronik,  
Ingenieurinformatik,  
Maschinenbau

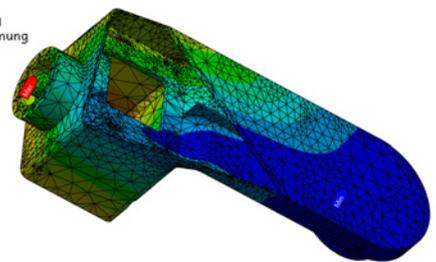
Motorentreiber wurden erfolgreich per CAN-Bus angesteuert. Die Fernsteuerung kann ausgelesen, die Position über Echtzeitkinematik bestimmt und die Motoren können angetrieben werden. Die Software zur Steuerung der Module konnte nicht an einem vollständigen Rover getestet werden. Einer der Gründe dafür war neben Problemen bei einem Zulieferer der grosse Arbeitsumfang. Das Projekt stellt eine Vorstufe für das finale Produkt dar, dennoch wurde eine Grundlage zur Weiterentwicklung an der OST geschaffen.

### FEM-Analyse eines Bauteils

Eigene Darstellung

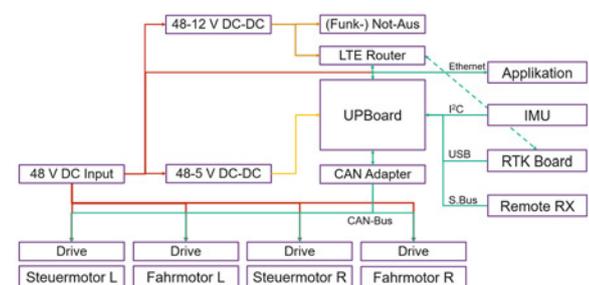
R: MKX  
Gesamtverformung  
Typ: Gesamtverformung  
Einheit: mm  
Zeit: 1 s  
16.08.2023 08:52

0.26832 Max
0.23851
0.20869
0.17888
0.14907
0.11925
0.08944
0.059627
0.029813
0 Min



### Hardware-Blockansicht

Eigene Darstellung



# Automated Testing

Diplomand



Michael Bollinger

**Einleitung:** Die Firma Bühler AG ist ein international tätiges Unternehmen, welches unter anderem Mühlen für die Lebensmittelindustrie herstellt. Die dazu benötigte SPS-Software wird vom Unternehmen selbst geschrieben und getestet. Die Tests dieser Software erfolgten bis anhin vollständig manuell.

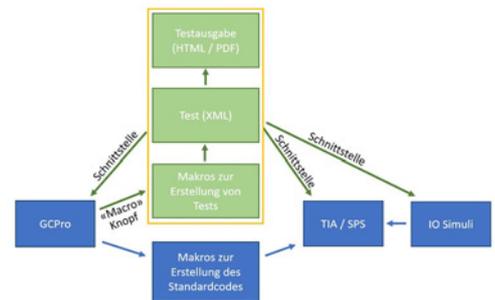
**Aufgabenstellung:** Im Rahmen dieser Arbeit wurden halbautomatische Tests für diverse Prozessfunktionen implementiert. Mithilfe der von Bühler entwickelten Makrosprache wird die Konfiguration der Anlage erfasst und es wird für jede Prozesslinie automatisch eine XML-Testdatei mit den vorhandenen Prozessen erstellt. Darin enthalten sind Befehle und Ergebnisprüfungen, welche für die einzelnen Tests notwendig sind. Um die Tests auszuführen, stehen drei verschiedene Schnittstellen zur Verfügung: GCPro, welches die Konfiguration der Anlage enthält, das Programmierwerkzeug TIA von Siemens zum Auslesen und Schreiben von Onlinewerten der SPS sowie IO Simuli, eine Bühler-interne Simulationssoftware.

**Ergebnis:** Die Abarbeitung der Tests ist direkt in GCPro eingebettet. Der Tester kann die Tests über eine Benutzeroberfläche starten und die Testdetails sowie auch die Ergebnisse direkt im Tool einsehen. Einige wenige Interaktionen sind technisch noch nicht automatisierbar und müssen manuell durchgeführt werden. Die Testergebnisse werden in einer XML-Datei gespeichert und mithilfe von XSLT in ein HTML umgewandelt. In der resultierenden Tabelle sind die Tests je nach Prüfstatus rot, grün oder weiss eingefärbt. Diese HTML-Datei kann im Browser angezeigt und als PDF gespeichert werden.

Die halbautomatischen Tests beschleunigen das Testen der Software deutlich und generieren eine einheitliche Testbasis. Die generierten Test-Logs sind standardisiert und können so als Dokumentation und Fortschrittskontrolle verwendet werden.

## Übersicht des Arbeitsablaufs eines Projekts

Eigene Darstellung



## XML-Darstellung eines ausgeführten Testfalls

Eigene Darstellung

```

<Item xsi:type="Action">
  <Brakepoint>false</Brakepoint>
  <ObjectName>=M-2085-MXZ01</ObjectName>
  <Command>"G067F".M_2085_MXZ01.EL.ParStoppingTime:=5000</Command>
  <Description>Set short StoppingTime</Description>
  <Memo />
  <StatusValue>1</StatusValue>
  <StateText>Success</StateText>
  <ExecuteDate>24.05.2023 15:13:12</ExecuteDate>
  <User>U27642</User>
  <Duration>356</Duration>
  <StartValue>5000</StartValue>
  <ActualValue>5000</ActualValue>
</Item>
  
```

## Resultat eines ausgeführten Tests, dargestellt in einer HTML-Tabelle

Eigene Darstellung

Description	ObjectName	StateText	ExecuteDate	User	Duration
Jobstart	MIL1	Success	13.06.2023 11:15:39		0
Section Test	MIL15001	Success	13.06.2023 11:15:39		914
Short StoppingTime	MIL15001	Success	13.06.2023 11:15:39	U27642	914
Reset StoppingTime	MIL15001				0
Section Test	MIL15002	Error	13.06.2023 11:15:44		1186033
Short StoppingTime	MIL15002	Success	13.06.2023 11:15:44	U27642	61
Filter Flour	MIL15002	Error	13.06.2023 11:17:16	U27642	1126990
Filter Flour depot	G101F	Error	13.06.2023 11:17:16	U27642	1126999
Time delayed switch ON	=A-4030-MXZ01	Success	13.06.2023 11:17:16	U27642	912437
HL Behaviour	=A-4030-BL1.09	Error	13.06.2023 11:31:04	U27642	214553
Mill Jobchange	MIL15002				0
Mill stopping procedures	MIL15002	Success	13.06.2023 11:35:49		58399
Stop with emptying B1 Depot	MIL15002	Success	13.06.2023 11:35:49		10105
Stop with emptying Mill	MIL15002	Success	13.06.2023 11:34:41		47941
Stop with emptying B1 Depot & Mill	MIL15002	Success	13.06.2023 11:35:37		353
Reset StoppingTime	MIL15002	Success	13.06.2023 11:36:11	U27642	583
Section Test	MIL15003	Success			0

Referent  
Prof. Dr. Urs Graf

Korreferent  
Prof. René Pawlitzek

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Image Inpainting für Anwendungen im Bereich des terrestrischen Laserscannings

Diplomand



Fabian Kurmann

**Ausgangslage:** Terrestrische Laserscanner erzeugen mit Hilfe eines Lasers eine Punktwolke der Umgebung. Diese Punktwolken finden vielfältige Anwendung in den Bereichen Vermessung, Architektur, Bauwesen, Archäologie und Forensik oder in der Film- und Spieleindustrie. Die Punkte werden mit den Farbinformationen der Kameras eingefärbt. So entsteht ein realistisches 3D-Modell der Umgebung. Laserscanner, bei denen das optische Zentrum der Laserdistanzmesseinheit und das optische Zentrum der Kamera nicht identisch sind, haben ein Parallaxproblem. Der ausgesandte Laserstrahl erfasst Punkte, die von der Kamera nicht erfasst werden können (Parallaxschatten). Es entstehen Bilder ohne gültige Farbinformation (Ground Truth). In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob diese Bilder mit Hilfe von Deep-Learning-Image-Inpainting-Methoden verbessert werden können.

**Vorgehen/Technologien:** Das Ersetzen fehlender oder beschädigter Bildteile durch neue Informationen (Image Inpainting) soll durch moderne neuronale Netzwerke erreicht werden. Dies erfordert die Recherche von State-of-the-Art-Inpainting-Methoden und dazugehörigen Netzwerken. Es wird eine Demonstrationsapplikation mit Python entwickelt, um die Ergebnisse der einzelnen Methoden visuell darzustellen und vergleichen zu können. Das Potential und die Grenzen der einzelnen Methoden werden anhand von synthetisch generierten sowie realen Szenarien untersucht. Die Ergebnisse werden in einem Bericht zusammengefasst und mit klassischen Inpainting-Methoden verglichen.

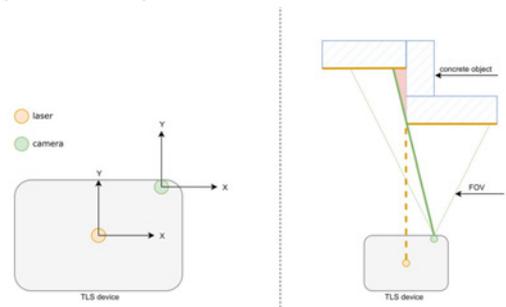
**Ergebnis:** Die Bewertung erfolgt grösstenteils objektiv mithilfe des Structural Similarity Index (SSIM), einer

Ähnlichkeitsmetrik für Bilder. Da für reale Szenarien keine Ground Truth zur Verfügung steht, können diese nur subjektiv bewertet werden. Die Untersuchung hat ergeben, dass die klassischen Methoden bei künstlich generierten Beispielen besser abschneiden als die neuronalen Netzwerke. Bei realen Bildern schneiden die neuronalen Netzwerke mindestens gleich gut oder besser ab. Die Ergebnisse zeigen deutlich, wo die Vor- und Nachteile der neuronalen Netzwerke gegenüber den klassischen Verfahren liegen.

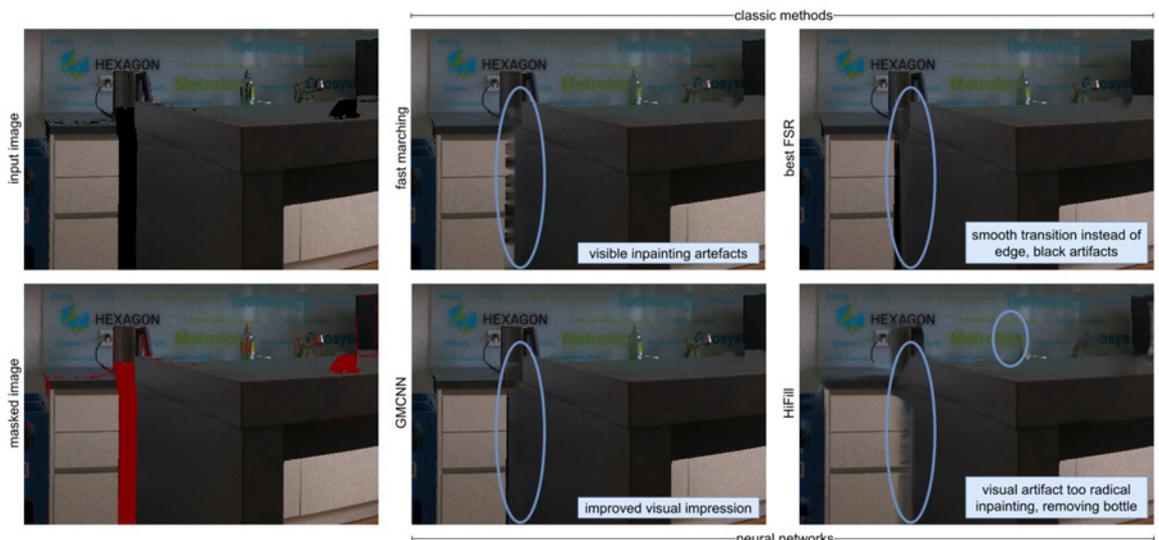
**Leica RTC360**  
Leica Geosystems



**Parallaxproblem eines Laserscanners im Bereich des TLS**  
Eigene Darstellung



**Originalbild, maskiertes Originalbild mit Parallaxschatten (rot), Ergebnisse der unterschiedlichen Inpainting-Methoden**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Norbert Frei

Korreferent  
Patrick Joos

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

Projektpartner  
Leica Geosystems AG,  
9435 Heerbrugg, SG

# IoT-Energiemonitor

## Diplomanden



Philipp Mösl



Philip Meile

**Einleitung:** Der Verein Kleinwohnformen Schweiz möchte Nachweise für energieeffizientes Wohnen erbringen können. Dazu wird ein cloudbasiertes Sensorsystem benötigt, mit dem die notwendigen Kennzahlen ermittelbar sind. Zusätzlich sollen weitere Umweltkennzahlen erfasst werden können. Auf dem Markt ist aber kein System erhältlich, das alle Anforderungen des Vereins erfüllt. Aus diesem Grund wurde ein Energiemonitor entwickelt, der möglichst viel Open-Source-Software verwendet.

**Ergebnis:** Ziel der Arbeit war es, einen Prototyp zu entwickeln, mit dem Daten aufgezeichnet und in der Cloud gespeichert werden können. Hierzu wurden die benötigten Sensoren evaluiert und die Daten über ein Hub-System in eine Cloud hochgeladen. Die Cloud speichert die Daten in geeigneter Form, um sie zu einem späteren Zeitpunkt auswerten zu können.

Für die Umsetzung wurde Azure Cloud verwendet. In dieser läuft InfluxDB, welches die Daten über einen Telegraf-Agent bekommt. Dieser bezieht die Daten von einem Event-Hub, der über den IoT-Hub gespeist wird. Zur Datenübermittlung an die Cloud wird Node-RED verwendet. Der Monitor unterstützt in der ersten Iteration AC-Strommessung und zeichnet Wetterdaten auf. Ausserdem können für die Heizenergie manuell die verbrauchten Energieträger angegeben werden.

**Fazit:** Weitere Sensoren sind für die DC-Strom- und CO<sub>2</sub>-Messung angedacht. Im nächsten Schritt sollen die Sensoren ergänzt und die Empfehlungen zur Ergänzung einiger Funktionen umgesetzt werden. Danach sollte eine Testinstallation bei einem Vereins-

mitglied gemacht werden, um Nachweise für energieeffizientes Wohnen erbringen zu können.

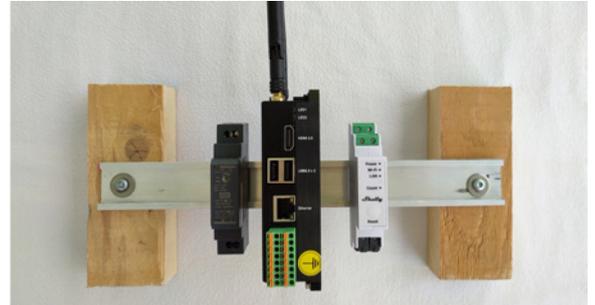
## Tiny House

Verein Kleinwohnformen Schweiz



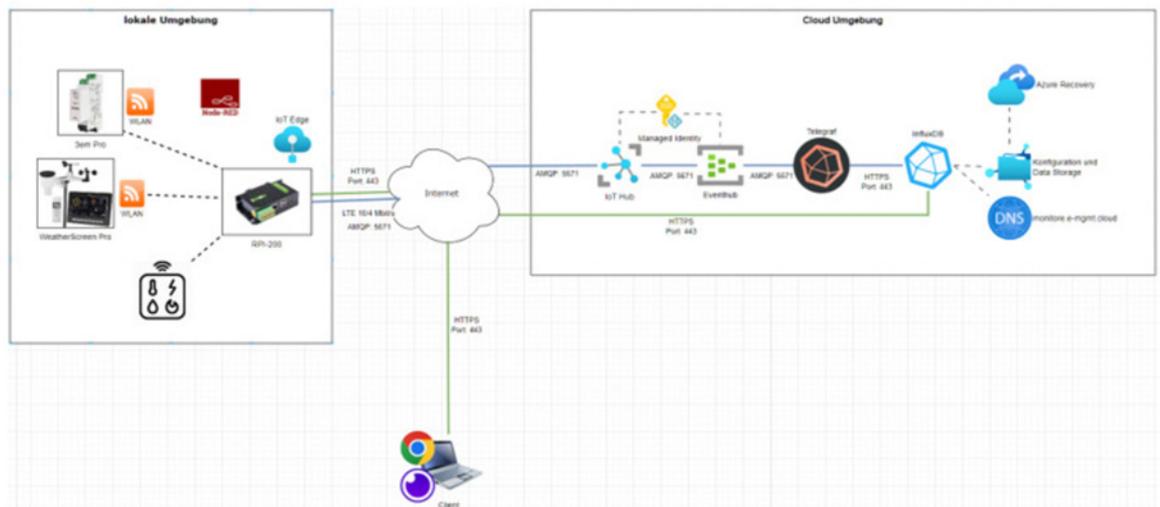
## IoT-Energiemonitor

Eigene Darstellung



## Systemarchitektur

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. René Pawlitzek

## Korreferent

Prof. Guido Piai

## Themengebiet

Ingenieurinformatik

# Multiverse und Multi-User Design

Diplomand



Pascal Schmidli

**Ausgangslage:** AWW Informatik ist verantwortlich für die Entwicklung von ClassCAD, welches die Erstellung von CAD/CAM-Applikationen ermöglicht. Neben der Integration in bestehende Systeme wie zum Beispiel zur Produktkonfiguration oder Parametrisierung von Bauteilen entwickelt AWW Informatik browserbasierte Applikationen in den entsprechenden Bereichen. AWW Informatik möchte die Möglichkeit einer Zusammenarbeit mehrerer Benutzer überprüfen. Dies steht in Verbindung mit den Entwicklungen im Bereich des Metaverse, welches versucht, die bestehende Form der Zusammenarbeit neu zu gestalten.

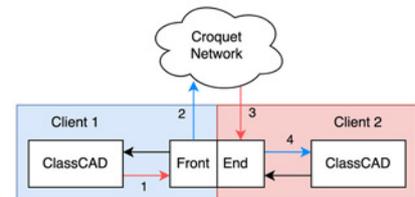
**Aufgabenstellung:** Die Aufgabenstellung für den Prototyp verlangt, Schlüsselfunktionen für die Zusammenarbeit mehrerer Benutzer in einer Webapplikation zu implementieren. Diese umfassen die Synchronisation bestehender Befehle, welche an die lokale API gesendet werden, sowie die Visualisierung der erforderlichen Informationen im Browser. Für die Synchronisation wurde die Integration des Croquet OS Framework vorgesehen. Mit Zugriff auf den privaten Source Code von AWW Informatik besteht die Aufgabe darin, Machbarkeit und Nutzen sowie mögliche Schritte für eine Weiterentwicklung aufzuzeigen.

**Fazit:** Der Prototyp implementiert die benötigten Funktionen, welche für eine Zusammenarbeit notwendig sind. Mit dem Ergebnis in Form des Prototyps besteht eine solide Grundlage für eine allfällige Weiterentwicklung, die zeigt, in welchen Bereichen noch mit Konflikten zu rechnen ist. Hierfür wurden Punkte ausgearbeitet, welche für ein mögliches Produkt sicherlich detaillierter betrachtet werden müssen.

Durch den Prototyp kann jedoch schon zu Beginn abgeschätzt werden, wie viel Aufwand notwendig sein könnte und worauf der Fokus zu setzen ist.

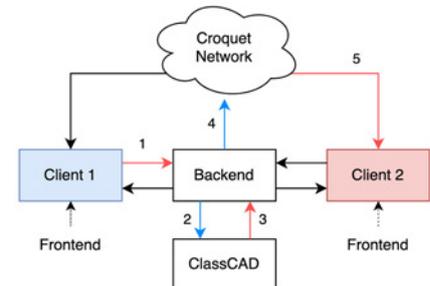
## Weg einer Synchronisation

Eigene Darstellung



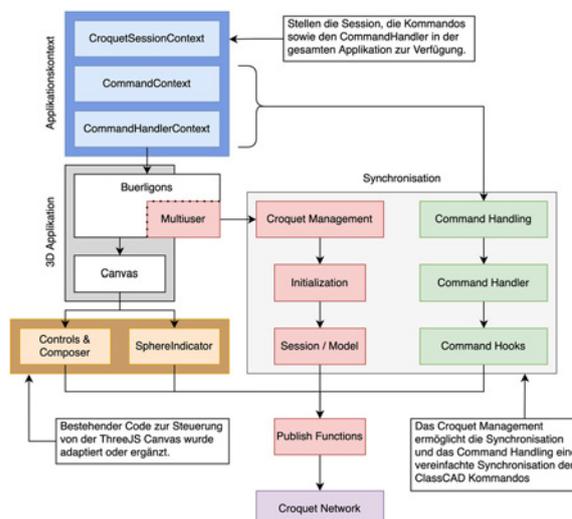
## Weg der Synchronisation bei einem zentralen ClassCAD-Server

Eigene Darstellung



## Aufbau des Prototyps

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Norbert Frei

Korreferent  
Patrick Joos

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

Projektpartner  
AWW Informatik AG,  
9000 St. Gallen

# Music Wizard

## Von der Melodie zum Notenblatt

Diplomandin



Ruth Zehnder

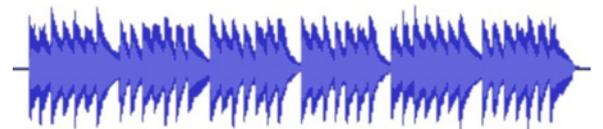
**Problemstellung:** Musik ist in unserer Zeit allgegenwärtig. In allen Geschäften, in den meisten Autos und in vielen Wohnungen läuft ständig Musik. Die Auswahl ist mittlerweile riesig und dank Programmen wie Spotify und YouTube steht die ganze Fülle der Musik jederzeit zur Verfügung. Auch das Erkennen eines Liedes ist mit einer App wie Shazam leicht gemacht. Will man aber zu Hause auf dem Klavier eine Melodie für sich nachspielen, beginnt die Suche nach dem zugehörigen Notenblatt. Viele Lieder hat zwar schon jemand nachgespielt, aber dennoch ist unklar, ob und wie gut die Noten zu Papier gebracht wurden. Zudem bleibt die Suche oft erfolglos, wenn es sich um weniger bekannte Stücke handelt. Dieser Problematik versucht die vorliegende Arbeit durch Automatic Music Transcription (AMT) basierend auf der Zeit-Frequenz-Analyse zu begegnen.

**Vorgehen:** Eine Melodie kann als Zeitsignal in Form einer mp3- oder wav-Datei eingelesen werden (Abb. 1). Dieses wird dann mit Hilfe der Kurzzeit-Fourier-Transformation in den Frequenzraum überführt und als Spektrogramm dargestellt, welches die zeitliche Abfolge der enthaltenen Frequenzen in diskretisierter Form zeigt. Der Grundton der Melodie wird mit Hilfe von Filtern im Frequenzraum bestimmt. Rauschen und Störsignale werden anschliessend mit morphologischen Verfahren bereinigt (Abb. 2). Aus Frequenz und Dauer der verbleibenden Signale werden die Noten der Melodie rekonstruiert und in ein Notenblatt übertragen (Abb. 3).

**Ergebnis:** Diese Vorgehensweise wurde in Python unter Verwendung der librosa-Bibliothek umgesetzt und erlaubte die Wiederherstellung der Partituren

von Soloinstrumenten-Stücken. Die Qualität der berechneten Partitur wird stark durch die Art des Musikinstruments, konkret durch das für die Klangfarbe verantwortliche Obertonspektrum und die Tonübergänge, beeinflusst. Obwohl der Algorithmus nicht für alle Instrumente gleichermaßen geeignet ist, bildet er eine solide Grundlage, um eine Melodie nachspielen zu können.

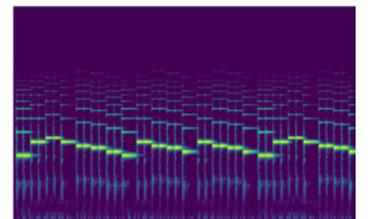
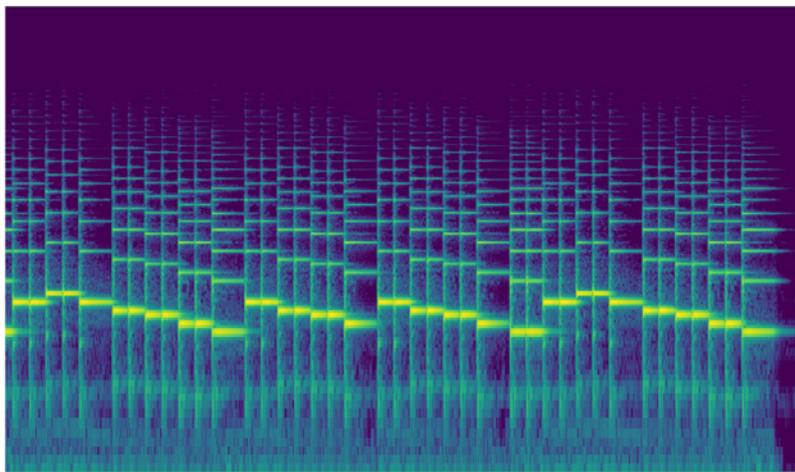
**Abbildung 1: Zeitsignal des eingelesenen Musikstückes**  
Eigene Darstellung



**Abbildung 2: Aus dem Zeitsignal automatisch generierte Noten**  
Eigene Darstellung



**Abbildung 3: Zwischenschritte der Melodieerkennung basierend auf dem Spektrogramm**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Wolfgang  
Wiedemair

Korreferent  
Prof. Dr. Klaus Frick

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Spiel- und Trainingsumgebung für Skirennstrecken

## Diplomand



Philippe Rechsteiner

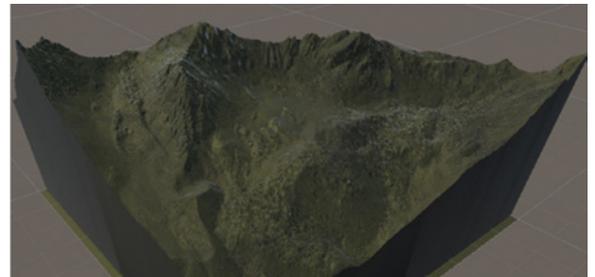
**Ausgangslage:** swisstopo stellt kostenfrei Schweizer Höhendaten mit 0,5 m Maschenweite in 1 km<sup>2</sup> grossen Kacheln zur Verfügung. Pisten- und Landschaftsinformationen können von anderen Quellen wie OpenStreetMap bezogen werden. Informationen zur Bodenbeschaffenheit und zu Pisten werden in verschiedenen Exportformaten bereitgestellt. Unity ist eine Entwicklungsumgebung, die eine breite Vielfalt an Werkzeugen, eine grosse Community und eine eingebaute Physik-Engine bietet. Im Fachmodul konnte eine einzelne Kachel gelesen, als Terrain dargestellt und texturiert werden.

**Aufgabenstellung:** Es soll ein Ski-Simulator realisiert werden, welcher es Athleten ermöglicht, Skipisten bereits virtuell zu befahren, um sich mental vorzubereiten und gewisse Strategien ausarbeiten zu können. Dabei sollen die vorhandenen Datenquellen und Werkzeuge genutzt und so kombiniert werden, dass verschiedenste Skigebiete und Pisten in einer physikalisch glaubhaften Umgebung dynamisch generiert und befahren werden können.

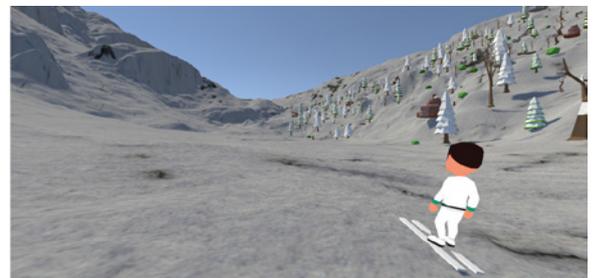
**Ergebnis:** Mehrere Kacheln korrekt zueinander zu positionieren, wurde anhand der Dateinamensgebung von swisstopo ermöglicht. Die Terrains mussten gedreht platziert werden, da Unity und swisstopo unterschiedliche Koordinatensysteme verwenden. Ebenfalls wurden die Terrains überlappend platziert, um Dateninkompatibilität zu umgehen, deren korrekte Darstellung Interpolation erfordert hätte. Gebietsdaten zu vorhandenen Pisten und Pistenrandobjekte werden von OpenStreetMap im XML-Format bezogen. Während Pistenknotenpunkte direkt platziert werden können, werden aus den rest-

lichen Gebietsinformationen Polygone über dem Terrain erzeugt. Dies ermöglicht es z. B., Waldstücke zu identifizieren und entsprechend Objekte zu platzieren. Es besteht die Möglichkeit, auf einer Schweizer Karte die Einstiegsposition zu wählen oder eine Position zur späteren Verwendung zu speichern. Ebenfalls wird eine Auswahl der verfügbaren Pisten zur Verfügung gestellt, sofern welche in den Gebietsdaten vorhanden sind. Die besten Erfolge zu glaubhafter Fahrphysik wurden mit einem angepassten Fahrzeug als Grundgerüst erzielt.

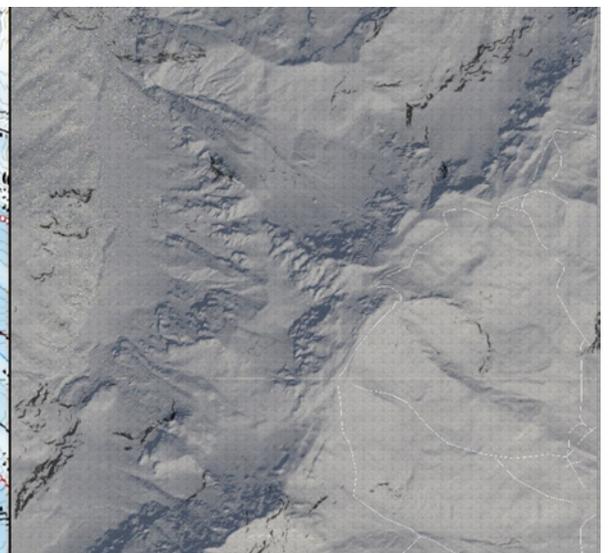
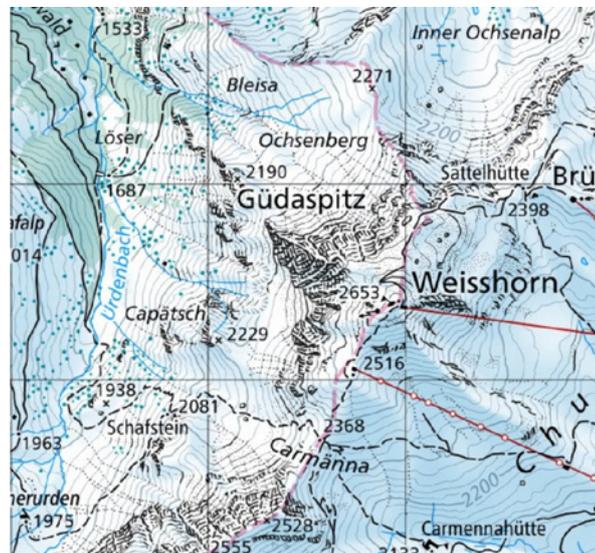
Im Fachmodul generierter Terrainausschnitt mit Grösse 1 km<sup>2</sup>  
Eigene Darstellung



Fahrer mit Waldstück im Hintergrund  
Eigene Darstellung



9 km<sup>2</sup> grosses Terrain aus Schweizer Kartendaten von Unity links und rechts  
map.geo.admin.ch und eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Norbert Frei

Korreferent  
Patrick Joos

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

# Teilautomatisierte Fussballspielanalyse

## Entwicklung eines Taktik-Analysesystems für den Amateurfussball

Diplomand



Lukas Dünser

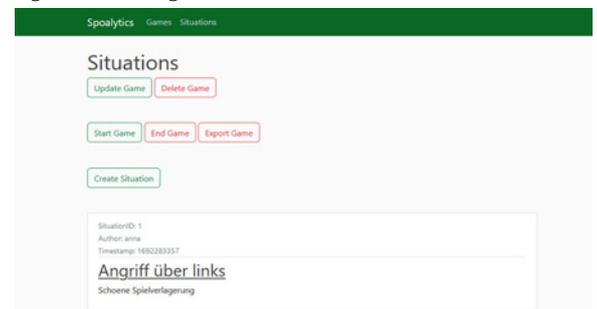
**Ausgangslage:** Taktikanalysen, welche mit technischen Hilfsmitteln erstellt und bereitgestellt werden, werden im Bereich des Profifussballs vielseitig eingesetzt. Diese sind allerdings mit hohem technischem Aufwand und/oder hohen Kosten verbunden. Um von den vielen Vorteilen einer visuellen Taktikanalyse durch ein Videostudium auch im Amateursport zu profitieren, soll ein einfaches und kostengünstiges System entwickelt werden.

**Vorgehen/Technologien:** Für ein solches Projekt ist es notwendig, sowohl eine günstige Hardware als auch eine günstige Software zu verwenden. Für die Software kommen daher besonders Open-Source-Produkte (Freeware) infrage. Die Webapplikation wurde nach der Client-Server-Architektur entworfen und im Backend mit Python und Flask realisiert. Für das Frontend kommen herkömmliche Webtechnologien wie HTML, CSS und JavaScript in Verbindung mit Bootstrap zum Einsatz. Das Zusammensetzen der einzelnen Videosequenzen und das Anfügen der Notizen werden durch die Video- und Audiokonvertierungsplattform FFmpeg ausgeführt. Dieser Vorgang wird durch ein Skript über die Kommandozeile mittels Windows PowerShell gesteuert.

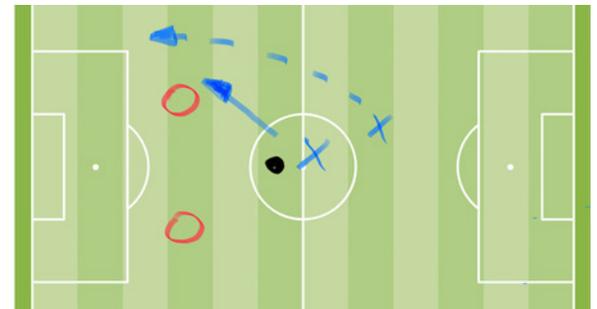
**Ergebnis:** Eine Actionkamera zeichnet das Fussballspiel aus erhöhter Position auf. Während dieser Aufnahme werden mit der entwickelten Webapplikation Aufzeichnungen bezüglich der Spielgeschehnisse und deren Taktik erstellt. Diese schriftlichen Aufzeichnungen werden mit einem Zeitwert, welcher bei der Erstellung der Notiz erfasst wird, in einer Datenbank gespeichert. Am Ende eines Spielabschnitts werden die Videodateien auf einen PC kopiert und

mit den erstellten Aufzeichnungen verarbeitet. Das Endprodukt ist eine Videodatei, welche mit Zeitstempeln und Anmerkungen versehen ist. Diese einzelnen Zeitstempel (Zeitpunkte innerhalb des Videos) können dann im Rahmen einer Taktikbesprechung mit einer Fussballmannschaft angesprochen werden und sollen durch die visuelle Darstellung den Spielerinnen und Spielern helfen, Spielsituationen in Zukunft noch besser zu lösen.

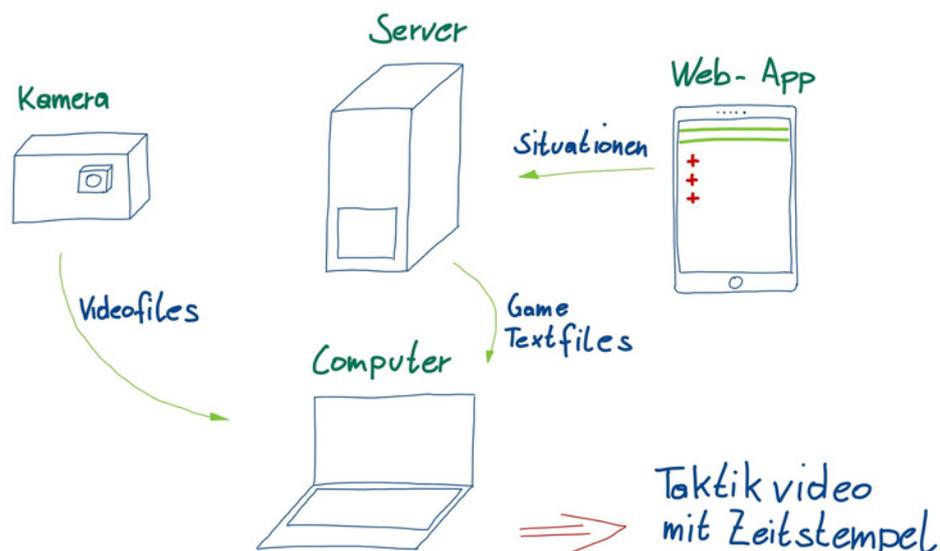
**Webapplikation**  
Eigene Darstellung



**Taktikanalyse**  
<https://pixabay.com>, bearbeitet



**Systemübersicht**  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Laszlo Arato

Korreferent  
Prof. Dr. Carlo Bach

Themengebiet  
Ingenieurinformatik

## Trackingsystem für blinde Spitzensprinter

### Diplomanden



Fabio Ravaoli



Thierry Glen Graf

**Einleitung:** Parasprinter mit Sehbeeinträchtigung absolvieren Wettkämpfe wie beispielsweise 100-Meter-Läufe mit einem Guide. Dieser ist notwendig, um die Sprinter auf der Bahn zu führen. Guides sind jedoch nicht für jedes Training verfügbar. Dies führt dazu, dass die Athleten nicht ihr ganzes Potenzial ausschöpfen und nicht in ihrer maximalen Geschwindigkeit trainieren können.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Auswahl und Evaluierung verschiedener Technologien sowie mit der Entwicklung eines Prototyps für ein Trackingsystem. Ziel dieses Systems ist es, die Position der Sprinter innerhalb der Bahn zu erfassen und den Athleten ein entsprechendes Feedback zu übermitteln. Dies soll dazu beitragen, die Sprinter beim Training zu unterstützen, ihre Laufleistung zu verbessern und ihr Sicherheitsgefühl zu stärken. Der Anwendungsbereich fokussiert sich auf den 100-Meter-Sprint.

**Vorgehen/Technologien:** Es wurden verschiedene Technologien wie Laserdistanzsensoren und Bildverarbeitung für das Tracking, drahtlose Datenübertragung mittels Funkmodulen, Feedback-Mechanismen durch Vibration und akustische Signale sowie geeignete Mikrocontroller zur Informationsverarbeitung evaluiert und für einen möglichen Prototypeneinsatz getestet. Basierend auf den Ergebnissen dieser Tests wurden die entsprechenden Technologien für den Prototyp ausgewählt.

Der Prototyp nutzt Laserdistanzsensoren zum Tracking der Sprinter. Die Feedback-Mechanismen des Prototyps umfassen Vibrationsmotoren und Piezo-Lautsprecher, die in Form von Armbändern am Handgelenk der Sprinter angebracht sind. Leichte Abweichungen auf der Bahn werden dem Sprinter über Vibrationen mitgeteilt, stärkere Abweichungen lösen zusätzlich ein akustisches Signal aus. Zur Datenverarbeitung werden Arduino-Microcontroller eingesetzt, welche die Sensorsignale verarbeiten und über Funk die Feedbacks an die Armbänder übermitteln. Die drahtlose Datenübertragung erfolgt zuverlässig über eine Distanz von über 100 Metern.

**Ergebnis:** Der entwickelte Prototyp wurde einem Praxistest mit blinden Spitzensportlern, Trainern und Guides unterzogen. Ihnen gelang es anhand der Feedback-Signale, selbständig Läufe zu absolvieren. Die Rückmeldungen der Testpersonen waren überwiegend positiv. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Kritikpunkten führten zu Anpassungen des Systems und einer Liste an möglichen Verbesserungen für zukünftige Weiterentwicklungen. Der Praxistest zeigt auf, dass der Prototyp in seiner derzeitigen Form bereits erfolgreich für einen einfachen Einsatz

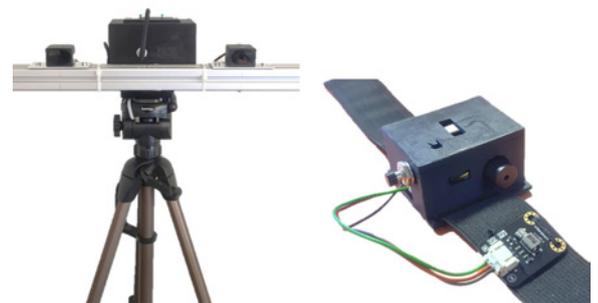
verwendet werden kann, Verbesserungen und Weiterentwicklungen aber sinnvoll sind.

Nach dem Praxistest wurden bereits verschiedene Anpassungen am Prototyp vorgenommen und mögliche Verbesserungen und Weiterentwicklungen dokumentiert. So kann das System von zusätzlichen Distanzlasern für eine präzisere Positionserfassung profitieren. Auch die Ausrichtung der Basisstation kann vereinfacht werden und die Feedback-Armbänder können komfortabler gestaltet werden. Weiterhin ist die Anwendung in anderen Sportarten wie beispielsweise dem Weitsprung denkbar.

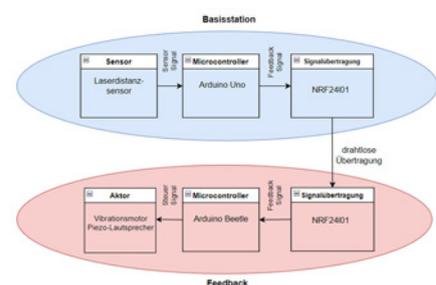
### Praxistest mit blinder Sprinterin im Olympiastützpunkt Freiburg Eigene Darstellung



### Basisstation (links) und Feedback-Armband (rechts) Eigene Darstellung



### Prototyp Systemübersicht Eigene Darstellung



### Referent Prof. Dr. Carlo Bach

### Korreferent Prof. Dr. Martin Bünner

### Themengebiet Ingenieurinformatik, Elektronik

### Projektpartner Deutscher Behindertensport- verband

# Energiesparender Ablufttrockner für die Industrie

## Entwicklung nachhaltiger Technologien

### Diplomanden



Noé Schreiber



Christian Signer

**Einleitung:** Bestehende industrielle Ablufttrockner haben kurze Trocknungszeiten, benötigen dazu aber viel Energie. Um diese zu sparen, werden effizientere Ansätze gesucht, welche dennoch dieselben Trocknungszeiten vorweisen.

Die Firma Schulthess ist auf Waschmaschinen und Trockner spezialisiert und hat diese Arbeit in Auftrag gegeben. Das Ziel besteht darin, ein Konzept zu entwerfen, welches mindestens 35% effizienter arbeitet als die bisher eingesetzten Ablufttrockner. Die bisherigen Heizelemente wurden in der Schweiz elektrisch, in Europa oft auch mit Gas gespeisen. Um ein geeignetes Lösungskonzept zu finden, werden diverse Trocknungsverfahren auf ihre Eignung geprüft und deren Effizienz miteinander verglichen. Eine Aussage soll gemacht werden, welche Technologie sich energetisch und wirtschaftlich lohnt.

**Vorgehen:** Zuerst wurde breit gefächert nach möglichen Trocknungskonzepten gesucht. Daraufhin wurden die elf gefundenen Trocknungsarten auf ihre Anwendbarkeit in Bezug auf effiziente Wäschetrocknung untersucht. Mittels einer Vorteil-Nachteil-Liste wurden die Konzepte grob gefiltert. Zu den drei vielversprechendsten Konzepten wurden Simulationen erstellt, um sie auf ihren Energieverbrauch zu prüfen und zu vergleichen. Um die Simulationen auf ihre Plausibilität zu prüfen, wurde eine Simulation eines herkömmlichen Ablufttrockners erstellt. Von Schulthess wurden Messdaten zur Verfügung gestellt, um dieses Basisprogramm verifizieren zu können. Die Simulationen wurden mithilfe der Software «Engineering Equation Solver» (kurz EES) erstellt. Die Energieeffizienz stand dabei im Vordergrund, die Simulationen geben aber auch Aufschluss darüber, wie der Trocknungsprozess weiter optimiert werden könnte. Bei den simulierten und optimierten Konzepten handelt es sich um Wärmerückgewinnungs- und Wärmepumpensysteme. Mit einem Excel-Tool von VDI wurde zudem eine Pinch-Analyse erstellt, die den Heiz- und Kühlbedarf der Systeme darstellt. Zum Schluss wurde eine qualitative Kostenabschätzung gemacht, um die Wirtschaftlichkeit der Konzepte zu vergleichen.

**Ergebnis:** Die drei als geeignet eingestuften simulierten Konzepte erfüllen die energetischen Anforderungen. Bei den Konzepten handelt es sich um:

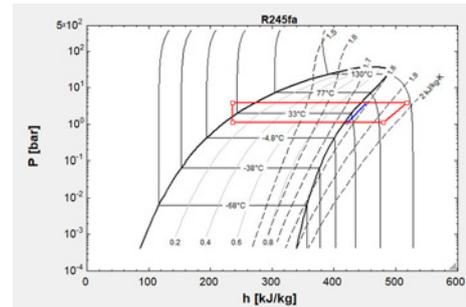
- einen Ablufttrockner mit Wärmerückgewinnung
- einen Wärmepumpentrockner
- einen Trockner mit einer transkritischen CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe

Die Wärmepumpentrockner arbeiten effizienter als einfache Ablufttrockner mit Wärmerückgewinnung, sind aber komplexer und teurer. Die einfachste

Lösung, die die Vorgaben erfüllt, liegt also in einer simplen Wärmerückgewinnung.

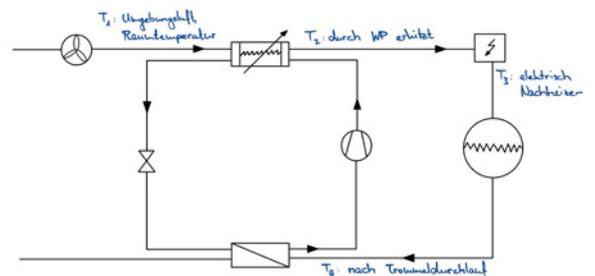
### Druck-Enthalpie-Diagramm der Wärmepumpe mit Kältemittel R245fa

Eigene Darstellung



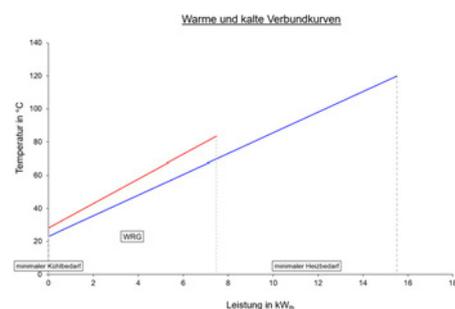
### Prozessschema eines Trockners mit einer transkritischen CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe

Eigene Darstellung



### Pinch-Analyse des Ablufttrockners mit Wärmerückgewinnung

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Stefan Bertsch

Korreferent  
Prof. Dr. Daniel Gstöhl

Themengebiet  
Maschinenbau

# Entwicklung einer Inline-Reinigungsanlage

Diplomand



Domenique Weber

**Ausgangslage:** Die SFS Group Schweiz AG fertigt Kugelgewindetriebe (KGT) für die Automobilindustrie. Mutter und Spindel des KGT werden in hohen Stückzahlen benötigt und auf Rundtaktautomaten automatisiert gefertigt. Alle sechs Sekunden werden die Bauteile den Rundtaktautomaten entnommen, gereinigt und mit einem Data Matrix Code (DMC) beschriftet. Innerhalb einer geschlossenen Kammer bringt ein Laser den DMC in die Bauteile ein. Mit der Zeit lagert sich Schneideöl aus dem Rundtaktautomaten in der Abführung und der Laserstation ab. Eine integrierte Absauganlage in der Kammer saugt Funken und Verunreinigungen ab, vernebelt aber gleichzeitig das eingeschleppte Schneideöl. Feine Öltröpfchen lagern sich auf der Laserlinse ab, bilden Läufer und vermindern die Qualität des gelaserten DMC. Dies führt zu Ausschuss, da der DMC die geforderten Qualitätsanforderungen nicht mehr erfüllt. Die Laserlinse muss daher durch das Personal gründlich gereinigt werden.

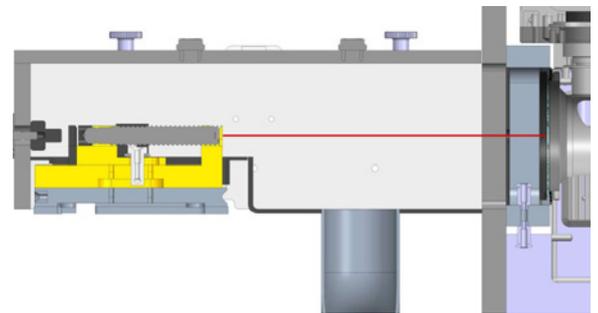
**Ziel der Arbeit:** Durch die Analyse und Optimierung der Laserstationen und deren Peripherie soll das Problem der Qualitätsminderung des DMC gelöst werden. Ziel der Arbeit ist es, die Laserkammern und die darin liegenden Strömungen so zu optimieren, dass das Schneideöl keinen Einfluss mehr auf die Qualität des DMC hat. Die Verschmutzung der Laserlinse und die damit verbundene Qualitätsminderung des DMC sind stark zu reduzieren. Das Reinigungsintervall ist zu maximieren. Durch eine Kombination aus Testaufbauten und einer Strömungssimulation sollen diese Ziele erreicht werden.

**Ergebnis:** Es wurden zwei optimierte Laserkammern entwickelt, bei denen die Strömung in der Kammer

das Schneideöl nicht mehr vernebelt und die Laserlinse frei von Verunreinigungen bleibt. Einer der beiden Testaufbauten konnte umgebaut und das Konzept erfolgreich verifiziert werden. Für den zweiten Testaufbau wurde das Konzept bereits adaptiert.

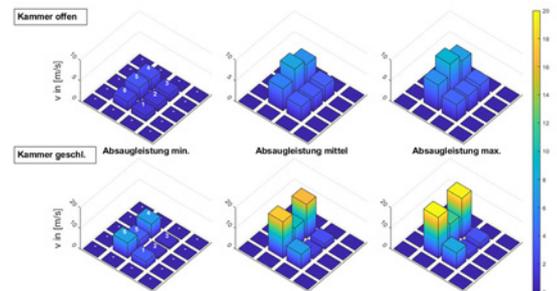
**Ausgangssituation: Schnitt durch Laserkammer für Bauteil Spindel. (Laserstrahl: rot markiert)**

Eigene Darstellung



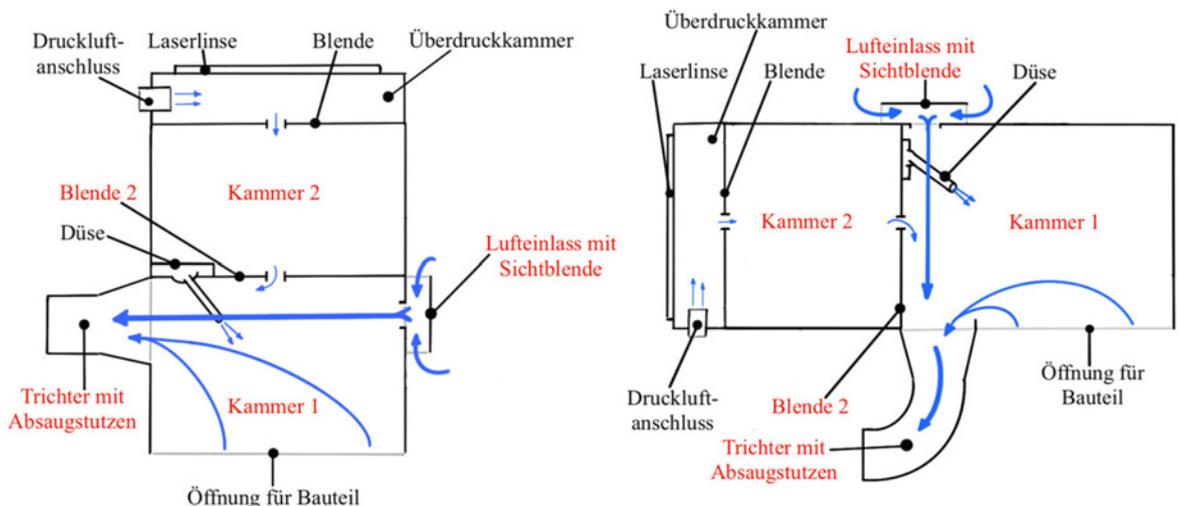
**Ausgangssituation: Strömungsgeschwindigkeiten in der Laserstation Spindel**

Eigene Darstellung



**Schematische Darstellung der optimierten Laserkammern für die Bauteile Mutter links und Spindel rechts**

Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Roland Egli

Korreferent  
Prof. Dr. Stefan Uhlar

Themengebiet  
Maschinenbau

Projektpartner  
SFS Group Schweiz AG,  
9435 Heerbrugg, SG

# Entwicklung einer teilautonomen Beschickungsanlage

## Diplomanden



Paul Schwärzler



Marco Obrist

**Ausgangslage:** Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung einer teilautonomen Beschickungsanlage für Kisten, welche zur Hauptanlage geführt werden. Aktuell erfolgt diese Zuführung manuell durch das Anlagenpersonal. Zukünftig soll dieser Vorgang automatisiert werden. Innerhalb der Kisten befinden sich Metallbügel, die in der Anlage weiterverarbeitet werden. Die Zuführung soll die Autonomie in der Produktion bei Blum steigern und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der gesamten Fertigung und Montage erhöhen.

Ein weiteres Ziel besteht darin, die Lärmbelastung zu reduzieren sowie dem Bedienpersonal die Arbeit zu erleichtern, da die Kisten ein erhebliches Gewicht aufweisen. Der aktuelle Prozess erfordert einen hohen Zeitaufwand, welcher für andere Tätigkeiten genutzt werden könnte. Der begrenzt verfügbare Platz soll durch die Anlagengrösse angemessen berücksichtigt werden.

**Vorgehen:** Um einen guten Überblick über die Arbeit zu erhalten, wurde ein Zeitplan mit Meilensteinen definiert und es wurden klare Projektziele formuliert. Wünsche und Forderungen der Firma Blum wurden in einer Anforderungsliste erfasst. Anschliessend wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, bei der nach ähnlichen Anlagen gesucht wurde. Zusätzlich wurde bei der Firma Blum auch recherchiert, welche Technologien zur Verfügung stehen und wo bereits Erfahrungen vorliegen.

Die Lösungen für die Teilfunktionen der Anlage wurden in der Konzeptphase zu einem morphologischen Kasten zusammengetragen und zu Konzepten weiterentwickelt. Durch eine wirtschaftliche und konstruktive Bewertung der Konzepte konnte die beste Variante ausgewählt werden.

In der nachfolgenden Phase wurden diverse Lösungen für verschiedene Unterbaugruppen ausgearbeitet und bewertet. Die beste Variante wurde anschliessend weiter detailliert und in die Zuführung integriert.

Die Kombination der unterschiedlichen Unterbaugruppen ergab schlussendlich die automatisierte Zuführung. Diese wurde so kompakt und lösungsorientiert wie möglich gehalten.

**Ergebnis:** Das Personal kann die Kisten in die Anlage geben. Diese werden von der Anlage in die Höhe befördert, wo sie anschliessend eingelagert werden. Sobald die Anlage Blechbügel benötigt, wird eine Kiste ausgelagert und die darin enthaltenen Metallbügel werden in den Bunker der Anlage gekippt. Die leere Kiste wird am Ende des Prozesses wieder ausgegeben.

Die Abschätzung der Kosten ergab, dass die Amortisation der Anlage deutlich vor dem vorgesehenen

Zeitpunkt erreicht würde. Demnach wäre die Zuführung auch aus finanzieller Sicht äusserst kosteneffizient.

Durch das Stapeln der Kisten in die Höhe wird eine optimale Autonomie der Beschickungsanlage erreicht.

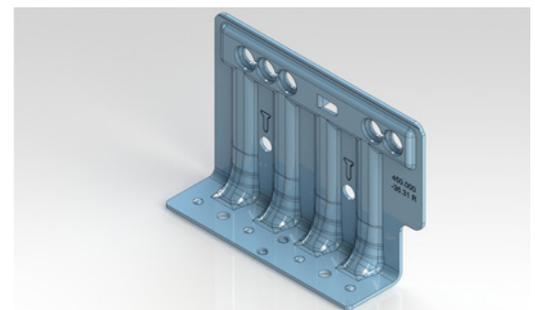
## Beispiel einer Beschickungsanlage

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



## Blechbügel

Eigene Darstellung



## Firmenlogo

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



## Referent

Prof. Roland Egli

## Korreferent

Prof. Günter Nagel

## Themengebiet

Maschinenbau

# FEM-Spannungsanalyse für Umformwerkzeuge

Diplomand



Domenik Graf

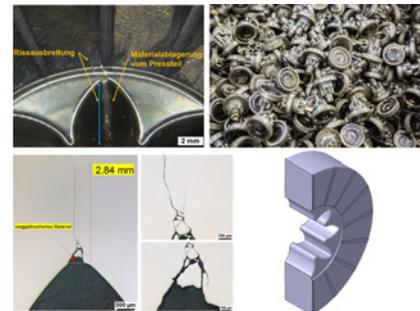
**Ausgangslage:** Die Firma SFS Group AG stellt mittels Kaltmassivumformung Präzisionsformteile für verschiedenste Anwendungen her. Für die Auslegung des Prozesses müssen Umformung des Werkstückes, Werkzeugdesign sowie Maschinenabläufe aufeinander abgestimmt werden. SFS verwendet für das Auslegen und Optimieren der Werkstückumformung Simulationen nach der Finite-Elemente-Methode. Das Werkzeugdesign wird aufgrund von internen Standards und Erfahrung konstruiert und bei Standzeitproblemen mit Trial-and-Error-Verfahren optimiert.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten der Finite-Elemente-Methode zu nutzen, um die Prozessbelastungen von Umformsimulationen auf die Werkzeuge zu übertragen. Somit kann mithilfe einer weiteren Simulation das Werkzeugdesign optimiert werden. Dabei verfolgt SFS das langfristige Ziel, Standzeitprobleme vorzeitig zu erkennen und das Werkzeugdesign in der frühen Entwicklungsphase zu optimieren. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es eines Erfahrungsaufbaus, welcher durch den Abgleich von Theorie und Praxis erreicht wird. Die Simulationen werden mit den Programmen Ansys und FORGE durchgeführt und miteinander verglichen.

**Vorgehen:** Für den Erfahrungsaufbau werden anhand eines Demonstrators Simulationsergebnisse mit realen Schadensbildern aus der laufenden Produktion verglichen. Die Schadensanalyse wird zur Verifizierung der Simulationsergebnisse herangezogen. Mithilfe einer Parameterstudie werden die Haupt- und Vergleichsspannungen ausgewertet und miteinander

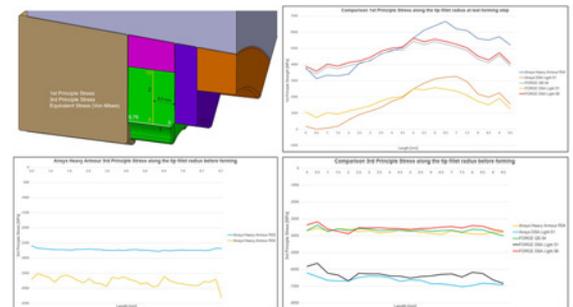
der verglichen. Es wird zusätzlich geprüft, wie stark der Modellaufbau der Simulation vereinfacht werden kann, um zukünftige Simulationen effizienter zu gestalten.

## Schadensanalyse am Kaltumformwerkzeug SFS Group AG



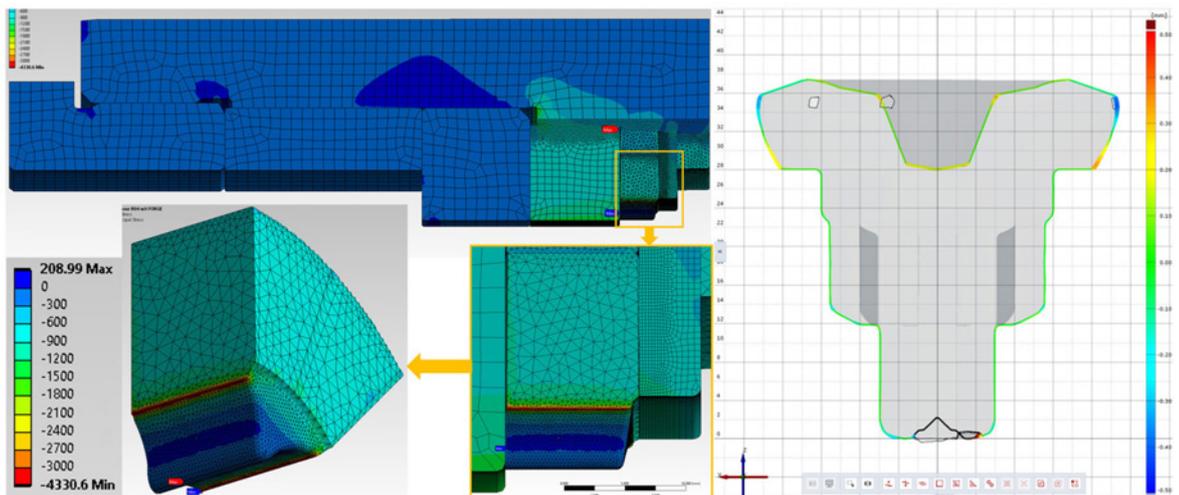
## Auswertungen von Spannungen verschiedener Simulationen am Kaltumformwerkzeug

Eigene Darstellung



## Auswertungen der Zugspannungen am Kaltumformwerkzeug (links), masslicher Abgleich Simulation – optische Messung (rechts)

Eigene Darstellung



Referent  
Stefan Uhlar

Korreferent  
Dr. Marco Lühinger

Themengebiet  
Maschinenbau

Projektpartner  
SFS Group Schweiz AG,  
9435 Heerbrugg, SG

# Hot-Disk für anisotrope Materialien

## Diplomand



Janick Kranz

**Ausgangslage:** Für die Ermittlung der thermischen Eigenschaften eines Materials gibt es eine Vielzahl von Messverfahren. Eines dieser Verfahren ist die Transient-Plane-Source-Methode (TPS). Das Unternehmen Hot Disk AB produziert Messinstrumente, welche dieses Verfahren verwenden. Das IMP Institut für Mikrotechnik und Photonik verwendet das Messinstrument TPS 500, um die Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturleitfähigkeit von Materialien zu messen. Dieses Messinstrument ist in der Grundausstattung nur in der Lage, die thermischen Eigenschaften von isotropen Materialien zu messen. Das Ziel dieser Arbeit ist, ein Verfahren zu entwickeln, um auch anisotrope Materialien (die Wärmeleitung ist richtungsabhängig) zu messen.

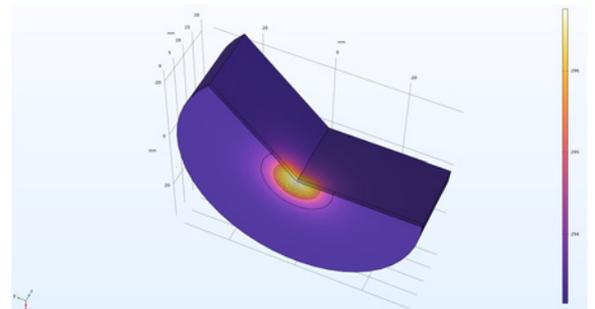
**Vorgehen:** Mit der Methode der finiten Elemente (FEM) wird die Modellbildung realisiert. Die verwendete Simulationsplattform ist die Software COMSOL Multiphysics. Die Modelle wurden validiert und es wurde eine Vielzahl von Datensätzen generiert, um die Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturleitfähigkeit von Materialien zu untersuchen. Ausgangspunkt für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit ist der Temperaturanstieg des Sensors, während die Probe aufgeheizt wird. Mit diesem Temperaturanstieg konnte der Auswertalgorithmus des Hot-Disk-Messinstruments für isotrope Materialien reproduziert werden. Der Auswertalgorithmus wurde erweitert, damit auch anisotrope Materialien gemessen werden können.

**Ergebnis:** Für die Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit eines isotropen Materials ist es nicht erforderlich, die Dichte und die spezifische Wärmekapazität des

Materials zu kennen. Bei anisotropen Materialien sind diese zwei Materialeigenschaften ein wesentlicher Bestandteil, um die radiale und axiale Wärmeleitfähigkeit zu ermitteln. Durch Messungen von anisotropen Materialien mit dem Messinstrument TPS 500 wurde gezeigt, dass der neue Auswertalgorithmus in der Lage ist, eine richtungsabhängige Wärmeleitfähigkeit zu bestimmen.

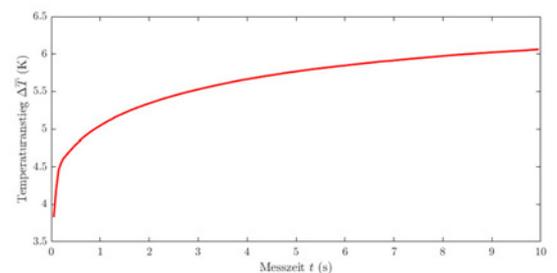
## FEM-Simulation der TPS-Methode

Eigene Darstellung



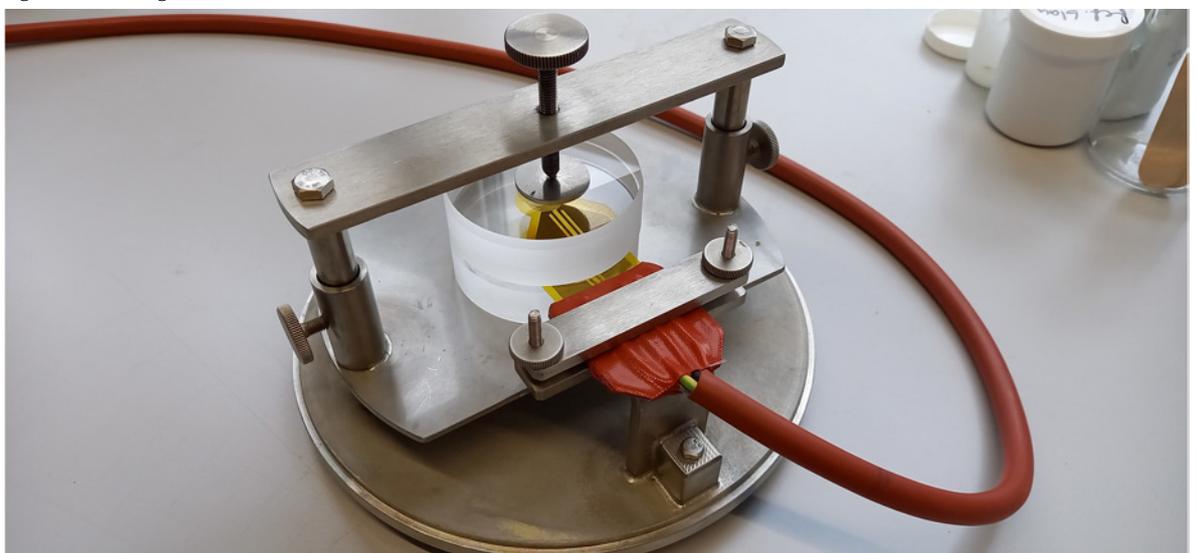
## Temperaturanstieg des Hot-Disk-Sensors während der Messung

Eigene Darstellung



## Messaufbau für eine Hot-Disk-Messung

Eigene Darstellung



## Referent

Prof. Dr. Michael Schreiner

## Korreferent

Claudio Wolfer

Themengebiet  
Maschinenbau

# Low cost Früchtetrockner

## Diplomanden



Betül Tanriverdi



Esther Lehmann



Burak Kilic

**Einleitung:** Früchte sind ein Gut der Mutter Natur, welches wir nahezu tagtäglich konsumieren – zum Beispiel auch in getrockneter Form. Oft handelt es sich um Obstsorten, welche in unserer Region nicht existieren. Daher kommt ein Grossteil der Früchte aus Entwicklungsländern, wo die Früchte vor Ort mit veralteter Technologie unter schlechten Bedingungen getrocknet werden. Aufgrund dessen widmet sich diese Bachelorarbeit der Entwicklung eines Früchtetrockners für den Einsatz in Entwicklungsländern. Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der vollständigen Ausarbeitung und Entwicklung eines Früchtetrockners. Dabei stellt sich die Frage, welche Wärmepumpe sich für den Trocknungsprozess von Früchten ideal eignet und ob die Technologie in einem umsetzbaren Konzept adaptierbar und aufbaubar ist.

**Vorgehen:** Zu diesem Zweck wurden Hersteller von bereits etablierten Früchtetrocknern im deutschsprachigen Raum einer Analyse unterzogen. Diese Untersuchung enthüllte bedeutsame Informationen hinsichtlich bestimmter Entscheidungsprozesse, wie beispielsweise der Wahl der Materialien, der Anordnung der Komponenten, der definierten Temperaturbereiche sowie der Formgebung. Diese Erkenntnisse stellen einen essenziellen Baustein dar und bilden das Fundament für die darauffolgende Konzeptentwicklung sowie die anschliessenden Berechnungen. Auf Grundlage dieser Auswertungen wurden die theoretischen Trocknungszeiten ermittelt und die notwendigen Dimensionen festgesetzt. Parallel zu diesen Kalkulationen wurde eine experimentelle Analyse des Strömungsverhaltens bei unterschiedlichen Widerständen durchgeführt. Im nächsten Schritt erfolgte die sorgfältige Ausarbeitung des Konzepts mithilfe von CAD-Software, wobei die gewonnenen Erkenntnisse und Informationen von entscheidender Bedeutung waren.

**Ergebnis:** Der abschliessende Montageprozess des Früchtetrockners wurde von einer Vielzahl an Optimierungen und Anpassungen begleitet. Da es sich bei dieser Konstruktion um einen Prototyp handelt, wurden umfangreiche Tests und Messungen durchgeführt, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen und etwaige Anpassungen vorzunehmen. Nach einer Reihe von Anpassungen, die sicherstellten, dass der Früchtetrockner sowohl hardware- als auch softwareseitig einsatzbereit ist, konnten schliesslich die ersten Trocknungsvorgänge durchgeführt werden. Im finalen Testlauf zeigten sowohl getrocknete Äpfel als auch Mangos äusserst erfolgreiche Ergebnisse. Die getrockneten Früchte erfreuten nicht nur optisch, sondern beeindruckten vor allem durch ihre herausragende Qualität, Konsistenz und ihren Geschmack.

## Referent

Prof. Stefan Bertsch

## Korreferent

Prof. Roland Egli

Themengebiet  
Maschinenbau

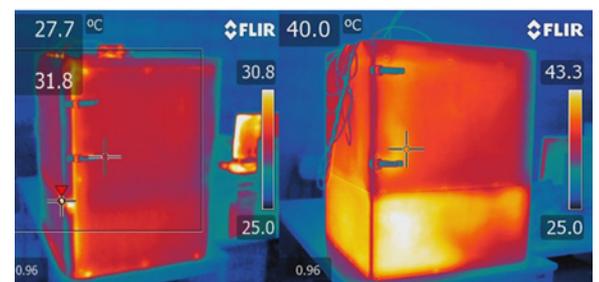
## Früchtetrockner mit getrockneten Mangos

Eigene Darstellung



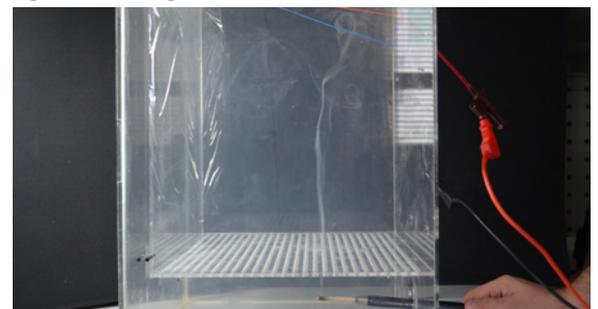
## Wärmebildaufzeichnung mit Isolierung (links) und ohne Isolierung (rechts)

Eigene Darstellung



## Strömungstest mit Acrylglas-Modell

Eigene Darstellung



# AgriPV Controller – Entwicklung eines Prototyps

## Diplomanden



Nils Wöcke



Damian Brauchli

**Einleitung:** Die vorliegende Bachelorarbeit widmet sich der Planung und Entwicklung eines Prototyps für eine dynamische Photovoltaik-Anlage mit Anwendungsschwerpunkt im Weinbau. Da für den Prototyp die finanziellen Mittel fehlen, wird als Veranschaulichung ein Modell des geplanten Prototyps gebaut. Das Hauptziel der Anlage ist der Schutz von Weinreben vor Spätfrost, Hagel und anderen Umwelteinflüssen.

**Vorgehen:** Da bis jetzt nur statische Systeme oder für den benötigten Einsatz zu schwer ausgelegte dynamische Anlagen existieren, ist die Idee für diese Arbeit entstanden. In den Wintermonaten und bei ausreichender Sonneneinstrahlung während der Sommermonate soll die Anlage zur Stromproduktion nutzbar sein. Um ein Gefühl für die Rentabilität einer solchen Anlage im Weinbau oder allgemein in der Landwirtschaft zu erhalten, wird eine Rentabilitätsrechnung erstellt. Anhand von Wetterdaten für den Standort Buchs wird ein Python-Programm geschrieben, mit welchem alle möglichen Szenarien simuliert werden können. Dank dieses Programms können die Kosten einer beliebig grossen Anlage sowie die zu erwartenden Gewinne nach beliebig vielen Jahren errechnet werden. Durch verschiedene Konzeptfindungsmethoden werden diverse Konzepte erarbeitet und analysiert. Von diesen werden jeweils nach einem Ausschlussverfahren wieder einige Ideen verworfen und es entstehen neue Optionen. Ein zentraler Aspekt der Arbeit betrifft die Konstruktion eines robusten Unterbaus. Mittels Simulationen und Berechnungen zu mechanischen Belastungen und Windkräften soll ein genügend starker Unterbau geplant werden, der die Anlage auch in Extremsituationen wie Stürmen stabil hält. Es wird sich für einen Aufbau entschieden, der durch eine drehbare Welle die Solarpanels auf beide Seiten zwischen die Rebzeilen wegdrehen kann. Geplant sind bifaziale Solarpanels, da im weggekippten Zustand die Rückseiten der Solarpanels ebenfalls einen merklichen Anteil an Sonnenstrahlung auffangen können und somit noch mehr Strom produziert wird. Der Prototyp wird geplant und Offerten für alle Komponenten liegen vor, um einen in Zukunft geplanten Bau des Prototyps zu ermöglichen. Das Modell wird aus gezeichneten Plänen für den Prototyp abgeleitet und grösstenteils mit dem 3D-Drucker erstellt. Als Ersatz für die Solarpanels werden Bretter montiert, um den Schattenwurf zu simulieren. Die Steuerung des Systems erfolgt mittels einer Kompakt-SPS, auf welcher verschiedene Szenarien mittels Knopfdruck simuliert werden können. Die verschiedenen Szenarien können dank des Encoders am Motor punktgenau angefahren werden. Dies ermöglicht eine präzise Anpassung der Panelausrichtung, um entweder

bestmöglichen Schutz für die Reben zu bieten oder ein Maximum an Strom zu produzieren. Mithilfe des Modells und mit Scheinwerfern wird der Schattenwurf auf die Pflanzen veranschaulicht und es wird aufgezeigt, wie mit dem geplanten Aufbau trotzdem wirtschaftlich Weinreben bewirtschaftet und Weintrauben geerntet werden können.

**Fazit:** Die vorliegende Arbeit dient zur Weiterentwicklung von erneuerbaren Energieanwendungen in der Landwirtschaft und zeigt das Potenzial einer dynamischen Photovoltaik-Anlage. Die präsentierten Ergebnisse legen einen Grundstein für zukünftige Forschung und Entwicklung im vielversprechenden Bereich der Agri-PV.

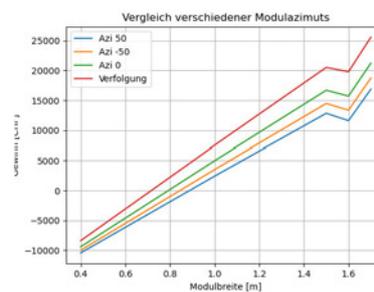
## Modell des Prototyps im CAD

Eigene Darstellung



## Erwarteter Gewinn nach 25 Jahren mit unterschiedlichen Ausrichtungen des Weinbergs

Eigene Darstellung



## Modell mit Wildreben

Eigene Darstellung



## Referent

Dr. sc. Martin Stöck

## Korreferent

Markus Markstaler

## Themengebiet

Maschinenbau,  
Computational  
Engineering, Elektronik

# SLM-Verarbeitung von AlSi12 mit Kohlenstoffadditiven

## Pulvermodifikation durch elektrolytische Kohlenstoffabscheidung, polymerbasierte CNT-Anbindung und Lösungsmittelverdampfung

### Diplomanden



Silvan Oehy



Robin Schrag



Matias Büchel

**Ziel der Arbeit:** Mit nanoskaligen Kohlenstoffzusätzen modifizierte Pulver können mit dem Verfahren Selective Laser Melting (SLM) Verfahren verarbeitet werden, um ein Material mit verbesserten Prozess- und/oder Materialeigenschaften herzustellen.

**Vorgehen/Technologien:** Pulvermischungen mit extremen Partikelgrößenunterschieden neigen zur Entmischung, was zu einer ungleichmässigen Verteilung von Nanopartikeln im modifizierten Pulver führt. Um dieses Problem zu überwinden und unter dem Gesichtspunkt der Nanosicherheit eine industrietaugliche und prozesssichere Pulvermodifikation mit nanoskaligen Partikeln zu ermöglichen, müssen geeignete Verfahren zur Pulvermodifikation entwickelt und erprobt werden. Drei verschiedene Verfahrenstechniken bieten geeignete Möglichkeiten zur Anbringung von nanoskaligen Additiven an der Legierungspulveroberfläche:

- die galvanische Abscheidung von Kohlenstoff,
- die polymere Anbindung von Carbon Nanotubes (CNT) und
- die Bindung von organischem Kohlenstoff in Form des Polysaccharids Agar-Agar durch Lösungsmittelverdampfung. Die modifizierten Pulver wurden dann mit einem in der Bachelorarbeit entwickelten analytischen Nanosafety-Test auf ihre SLM-Prozesseignung geprüft. Aus den erhaltenen Pulvermodifikationen wurden anschliessend SLM-Proben zur Materialcharakterisierung hergestellt.

Während mit der galvanischen Prozessroute keine erfolgreiche Modifikation der Legierungspulverpartikel erreicht werden konnte, liessen sich mit den beiden anderen Prozessrouten modifizierte Pulver herstellen.

Mit der Methode der Lösungsmittelverdampfung konnte das Polysaccharid Agar-Agar an das Legierungspulver gebunden werden, indem eine dünne Schicht auf der Oberfläche der Legierungspulverpartikel gebildet wurde. Die CNTs konnten durch einen polymeren Bindungsprozess unter Verwendung von Wasserstoffbrücken erfolgreich an die AlSi12-Pulverpartikel angebonden werden (Abb. 1).

Beide Pulver zeigten eine ausreichend hohe Fließfähigkeit und eine geeignete Korngrößenverteilung für die SLM-Verarbeitung. Da es sich bei CNTs um Nanopartikel handelt, die für Mensch und Umwelt schädlich sein können, wurde das AlSi12-CNT-Pulver auch auf seine Nanosicherheit geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die Exposition durch das Pulver weit unter den empfohlenen Grenzwerten der nationalen Sicherheitsverordnung der Schweiz liegt. Somit erfüllten beide Pulver die Anforderungen an die SLM-Prozessstauglichkeit und konnten zu SLM-Proben verarbeitet werden.

**Ergebnis:** Proben aus CNT-additiviertem Legierungspulver weisen bessere mechanische Eigenschaften auf als die aus dem AlSi12-Ausgangspulver hergestellten Proben, während Proben aus Agar-Agar-additiviertem Legierungspulvern die schlechtesten Materialeigenschaften besitzen (Abb. 3). Ob die Verbesserung bei der CNT-Additivierung von der Bildung eines Composite-Werkstoffes oder von Kohlenstoffausscheidungen in der Aluminiumstruktur herrührt, konnte nicht abschliessend geklärt werden. Diese Studie zeigt, dass ein nanosicheres SLM-Pulver hergestellt werden kann, das bereits bei geringer CNT-Konzentration zu einer Materialverbesserung führt.

Abb. 1: REM-Aufnahme der Oberfläche eines AlSi12-Pulverpartikels mit angebondenen CNTs

Eigene Darstellung

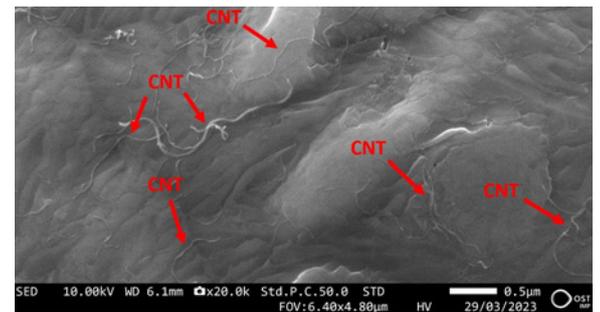


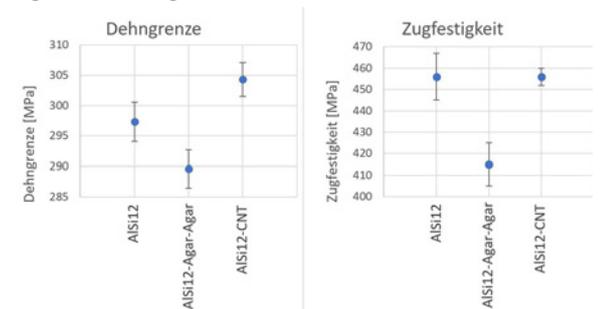
Abb. 2: Schliff einer AlSi12-Legierung mit sichtbaren schuppenförmigen Scanspuren des SLM-Prozesses

Eigene Darstellung



Abb. 3: Festigkeitsmittelwerte von AlSi12, AlSi12-Agar-Agar und AlSi12-CNT (68% Konfidenzintervall)

Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Cord Henrik Surberg

### Korreferentin

Dr. Noémie Ott

### Themengebiet

Maschinenbau,  
Mikrotechnik

# Schichtdickensensor zur Detektion von Schichtablagerungen in Prozesskammern

## Diplomanden



Raphael Mayenknecht



Michiel Sameli

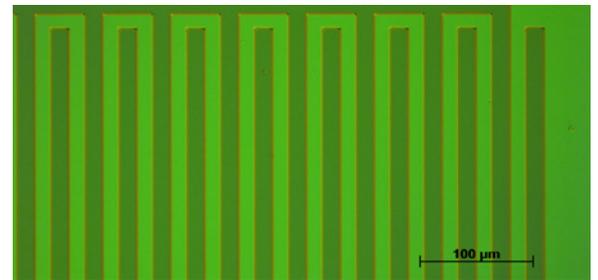
**Ausgangslage:** Bei der präzisen Strukturierung von Halbleiter-Wafern zur Herstellung von integrierten Schaltungen sind Plasmaätzverfahren von entscheidender Bedeutung. Eines der Probleme bei der Verarbeitung besteht in der Bildung von Rückständen an den Innenwänden der Prozesskammern. Während der Prozesse können sich Partikel aus den Ablagerungen freisetzen. Diese Partikel können zu Defekten auf den Wafern führen. Um übermässige Schichtbildung an den Kammerwänden zu verhindern und die damit verbundenen Probleme zu vermeiden, ist eine regelmässige Reinigung und Konditionierung der Prozesskammern unerlässlich. Im Rahmen der Bachelorarbeit sollte ein kapazitives Sensorsystem zur Detektion von Schichtablagerungen in Prozesskammern zur Unterstützung der Reinigungs- und Konditionierungsvorgänge erstellt werden.

**Vorgehen:** Die im vorangegangenen Fachmodul erarbeiteten Prozessabläufe wurden während der Bachelorarbeit in den Reinräumen der OST realisiert. Die Strukturen wurden mittels Photolithographie und Ätzprozessen hergestellt. Die Funktionalität wurde mittels Kapazitätsmessungen und Dichtigkeitsmessungen gegenüber Vakuum validiert. Die Schichtablagerungen für die Kapazitätsmessungen liessen sich durch Auftragen von Photolacken simulieren.

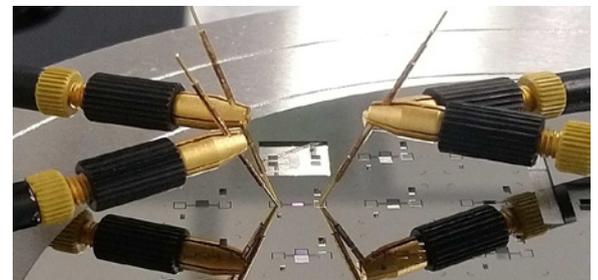
**Ergebnis:** Schlussendlich konnten Sensoren mit insgesamt zwölf unterschiedlichen Designs realisiert werden, wobei die kleinsten Strukturen nur  $2\ \mu\text{m}$  gross waren. Die Dichtigkeitsmessungen haben ergeben, dass das Gehäuse ausreichend dicht für den Einsatz in Beschichtungs- und Ätzanlagen ist. Die Kapazitätsmessungen haben gezeigt, dass die Sensoren

zuverlässig reproduzierbare Werte angeben können, um auf die aufgetragene Schichtdicke schliessen zu können. Die grösseren Strukturen haben besonders stabile Werte ergeben. Die Kosten konnten im Rahmen der Bachelorarbeit nur grob bestimmt werden, es hat sich jedoch gezeigt, dass die Herstellung in grösseren Batches und die Anpassung einiger Prozessparameter grosses Potential für Kosteneinsparungen liefern.

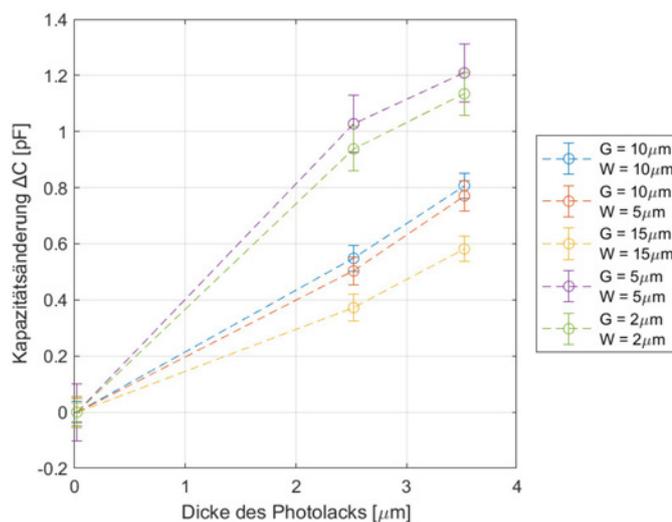
**Abschnitt einer Mikrostruktur: Interdigitalelektrode mit einer Fingerbreite von  $15\ \mu\text{m}$**   
Eigene Darstellung



**Kapazitätsmessung der Mikrostruktur mit einem Nadelprober bei  $1,25\ \text{V}$  und  $100\ \text{kHz}$**   
Eigene Darstellung



**Sensitivität unterschiedlicher Sensoren mit variierender Elektrodenbreite  $W$  und Luftspaltbreite  $G$**   
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Martin Gutsche

Korreferent  
Prof. Dr. Samuel Huber Lindenberger

Themengebiet  
Mikrotechnik

# Lichteinkopplung in eine Double-Clad Fiber

## Diplomanden



Niklas Jenny



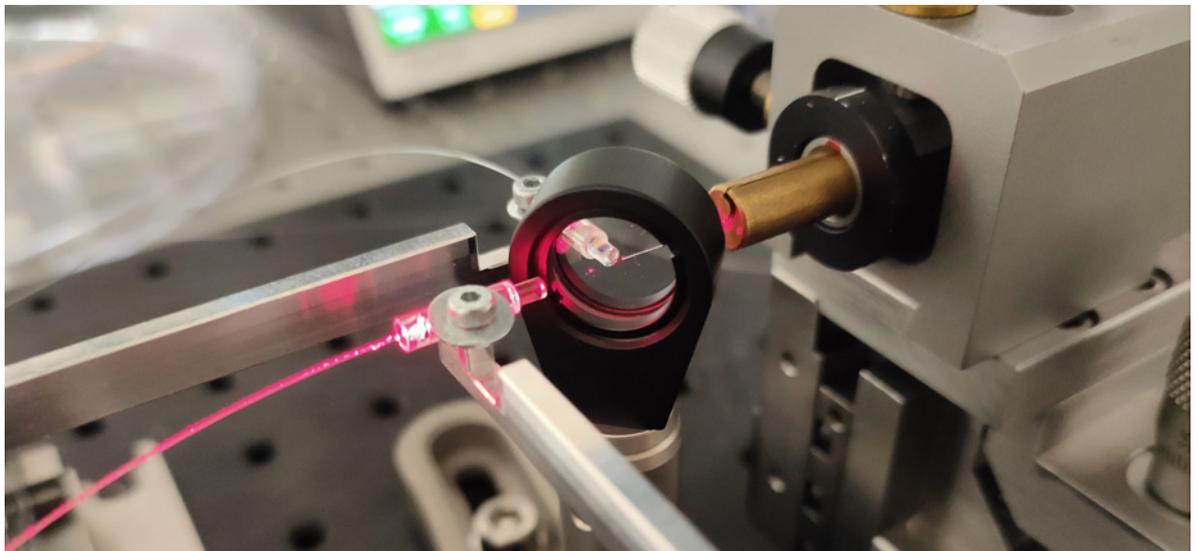
Simon Mattia Walder

**Ziel der Arbeit:** Um die Messgenauigkeit von Laserscannern zu verbessern, müssen interne Fehlerquellen detektiert und kompensiert werden. Im Rahmen dieses Projektes soll dies optisch mit Hilfe von sichtbarem Licht gemacht werden, das über eine Double-Clad Fiber ins System eingekoppelt wird. Eine Double-Clad Fiber wird verwendet, um im Kern der Faser den eigentlichen Infrarot-Messstrahl zu führen und koaxial im inneren Cladding das sichtbare Licht zu transportieren.

Um die Lichteinkopplung zu realisieren wurden drei Konzepte ausgearbeitet, die mit Freistrahlkopplung oder seitlicher Einkopplung des sichtbaren Lichtes über angeschliffene Fasern arbeiten. Um Speckles zu vermeiden, wurde auf Laserlichtquellen verzichtet und die Demonstratoren wurden mit einer LED und einer Superlumineszenz-Diode getestet. Ziel war es, eine möglichst homogene Ausleuchtung des Multimodebereiches der Double-Clad Fiber zu erreichen.

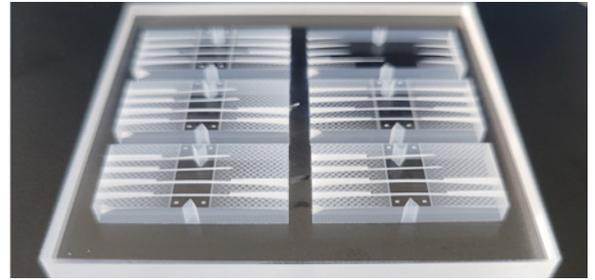
**Vorgehen/Technologien:** Die drei Konzeptideen wurden in OpticStudio simuliert, um Aussagen über den Aufbau sowie die Koppeffizienz zu erhalten. Im Anschluss konnten die entsprechenden benötigten Bauteile bestellt oder inhouse gefertigt werden. Bei den Konzepten mit seitlicher Einkopplung wurden Fasern in einen Glasblock eingeklebt, der mittels SLE-Prozess gefertigt und im Anschluss angeschliffen bzw. poliert wurde. Dadurch wurden die beiden zu koppelnden Fasern seitlich angeschliffen und die lichtführenden Strukturen sehr nahe aneinander gebracht, um eine Lichtkopplung zu erreichen. Die besten Demonstratoren wurden letztendlich fest verklebt und die Koppeffizienzen sowie die Homogenität der Ausleuchtung charakterisiert.

**Aufbau der Freistrahllösung: Einkopplung beider Wellenlängen in die Double-Clad Fiber mit einem dichroitischen Spiegel**  
Eigene Darstellung

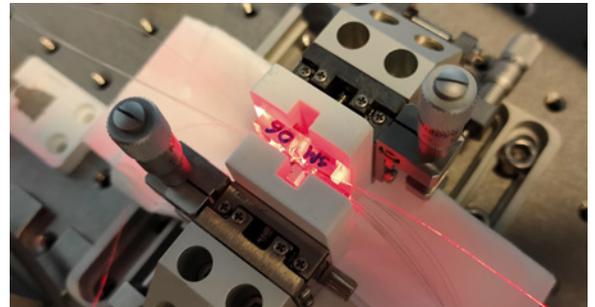


**Ergebnis:** Die erreichten Koppeffizienzen für das sichtbare Licht variierten sehr stark. Die höchste Kopplungseffizienz wurde mit seitlicher Einkopplung erreicht, wo rund 95% des sichtbaren Lichts in die Double-Clad Fiber eingekoppelt wurden und die Infrarotquelle direkt angespleisst werden konnte. Die Homogenitätsmessungen zeigten leichte Intensitätsschwankungen im Fernfeld. Im Zentrum des Lichtpunktes konnten leichte Speckles der Superlumineszenz-Diode beobachtet werden.

**Glassubstrat nach dem Laserschreiben**  
Eigene Darstellung



**Aufbau der seitlichen Einkopplung von Licht in die Double-Clad Fiber**  
Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Markus Michler

**Korreferent**  
MSc David Bischof

**Themengebiet**  
Photonik

**Projektpartner**  
Leica Geosystems AG,  
9435 Heerbrugg, SG

## 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



