

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE  
LUZERN**

Technik & Architektur

# Bachelor- und Master-Theses 2021

Institut für  
Maschinen- und  
Energietechnik





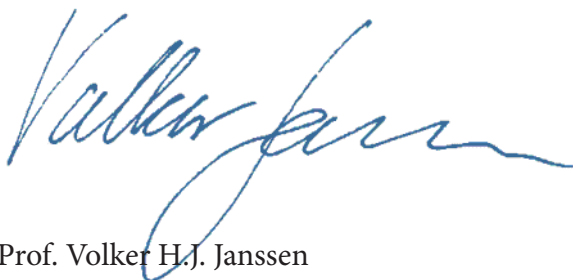
Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser.

Die Corona-Pandemie beeinflusst seit ihrem Auftreten unseren Alltag in allen Lebensbereichen. Es freut mich deshalb umso mehr, Ihnen in dieser Broschüre die Kurzfassungen der Bachelor- und Master-Theses 2021 des Studiengangs Maschinentechnik präsentieren zu dürfen. Diese konnten allen Widrigkeiten zum Trotz durch die Studierenden, Dozierenden, Experten und Industriepartner mit viel Engagement, Kreativität und Toleranz erfolgreich durchgeführt und verfasst werden.

Unsere Studentinnen und Studenten haben ein anspruchsvolles und intensives Studium erfolgreich absolviert. In dessen Verlauf haben sie ihre Fach-, Methoden- und Sozial-Kompetenzen und vor allem ihre Persönlichkeit weiterentwickelt. Für ihre intellektuellen Leistungen und ihren Durchhaltewillen verdienen sie Respekt und Anerkennung.

Die Bachelor-Thesis ist der krönende Meilenstein auf dem Weg zum „Bachelor of Science Hochschule Luzern/FHZ in Mechanical Engineering“. Die präsentierten Projektarbeiten belegen in beeindruckender Weise was unsere Studentinnen und Studenten zu leisten vermögen. Unsere Absolvierenden haben gelernt erfolgreiche Lösung für komplexe Problemstellungen aus und für die Praxis, mit viel Fachkompetenz und Kreativität in guter Ingenieurmanier zu erarbeiten.

Den Absolventinnen und Absolventen wünsche ich einen guten und reibungslosen Einstieg in die Arbeitswelt und eine erfolgreiche und befriedigende Berufskarriere. Ihnen, geschätzte Leserin und Leser, wünsche ich viel Vergnügen beim Lesen der Broschüre.



Prof. Volker H.J. Janssen  
Leiter Institut für Maschinen- und Energietechnik IME  
Studiengangleiter Maschinentechnik

Kontakt:  
T +41 41 349 32 19  
Volker.janssen@hslu.ch

## Inhaltsverzeichnis

Diplomand	Thema	Seite
Amaudruz Joël	Furuta-Pendel für regelungstechnischen Laborversuch	7
Baccalà Joel	Konzeptstudie einer Wasserturbine für die Installation bei Schiffliegstellen an Flüssen	8
Bacher Dominic	Antriebstechnik für Solar Butterfly	9
Bangerter Niklaus	Experimentelle Charakterisierung von makroverkapselten PCM in einem Zyklischerapparat	10
Bienz Fabian	Elektrischer Antrieb für Greifzange	11
Brand Mario	Integrierte Lastmessung bei Kettenzug	12
Brantschen Lars	Hardware-in-the-Loop-Anwendungen für 1-D-Systemmodelle	13
Buholzer Yannick	Entwicklung Ausfahr- und Klappmechanismus für Solar Butterfly	14
Christen Adrian	Feststell- und Arretiermechanismus für Anwendung in der Luftfahrt	15
Düggeli Jonas	Software-System für das SBB Heisswasser-Spritzfahrzeug	16
Elmiger Mathias	Entwicklung eines hydraulischen Tondruck-Antriebes	17
Fenk Benjamin	Numerische und experimentelle Untersuchung des Druckabfalls um Kapseln in Latentwärmespeichern	18
Geisseler Samuel	Konzept eines Systems zum Antreiben und Kontrollieren eines Sprüharmes in einer Reinigungsanlage	19
Glur Daniel	Simulation des Walz-/Haltevorganges in einer Stranggiessanlage	20
Grand Jonas	Dynamische Simulation einer Kälteanlage mit Turboverdichter	21
Gut Andre	Solar Butterfly – Auslegung der Grundstruktur	22
Haraszti Ferenc	MixSorb L®: Determination and evaluation of single- and multi-component sorption isotherms with breakthrough curves	23
Herger Matthias	Skibindung mit Stossdämpfer	24
Hess Rémy	Konzeption und Entwurf einer neuen Mechanik für Wasserhydranten	25
Höfliger Aaron	Particle Image Velocimetry Messungen an einem Modell der Katarakt-Operation	26
Huber Marius	Automatisierung und Optimierung eines Beschichtungsprozesses für Raumfahrtstrukturen	27
Huber Michael	Solar Butterfly – Konstruktion der Grundstruktur	28

Diplomand	Thema	Seite
Imfeld Dominik	Entwicklung einer Kollektorwaschanlage für maxon DC Motoren	29
In-Albon Simon	Optimierungspotential von Wärmepumpen im Feldbetrieb	30
Koch Mirco	FEM Analysen am FLORIS Teleskop	31
Krummenacher Andreas	Schneidmechanik und Aufhängung für autonomen Roboter	32
Kürschner Pascal	Konzeptstudie für online Wäge-Systeme in Stranggiessanlagen	33
Lütolf Julian	Entwicklung eines Druckübersetzers für Wasserkraftwerk	34
Marty Kilian	Aufbau eines Pumpenprüfstandes für Bohrspülflüssigkeiten	35
Monteiro Diogo	Solar Array Wing Deployment Jig	36
Moretti Raphael	Analyse und Optimierung der Befestigung von Experimentboxen in einer Höhenforschungsrakete	37
Nguyen Khanh Bang	Food Fraud Sensorsystem mit KI-Bilderkennung	38
Okic Matias	Analyse des Brühprozesses einer espressomaschine	39
Omlin Benedict	Simulationsbasierte Validierung von PinCH-Wärmeübertrager-Netzwerken mit Modelica	40
Omlin Manuel	Simulationsmodell für einen Feldroboter	41
Perren Janis	Neuentwicklung des Postprozessors von RoboDK	42
Schaller Lukas	Kostenoptimierung bei einem Bauteil für die Serienproduktion	43
Schmid Marco	Periodische Bremsprüfung für Fangbremsen bei Standseilbahnen	44
Schöpfer Mauro	Aufhängung Schneidwerkzeug für autonomen Roboter	45
Schranz Pascal	Magnetmotor – eine Machbarkeitsprüfung	46
Stig Segat	Mobiles Testsystem für Heisswasser-Spritzfahrzeug der SBB	47
Stalder Philipp	Optimierung eines Hochspannungsschalters	48
Tholl Dominique	Demonstrator für Motion Controller	49
Trösch Christoph	Prädiktive Wahl der Betriebsbedingungen eines Sprühtrockners gestützt auf Wettervorhersagen	50

## Inhaltsverzeichnis

Diplomand	Thema	Seite
Vogler Klemens	Konzipierung, Simulation und Auslegung eines Milchdurchlaufkühlers für Gastronomie-Kaffeemaschinen	51
Wahli Fabian	Experimentelle Untersuchung von Hochleistungskühlmitteln	52
Weber Sandro	Optimierung eines Seewasserwerkes mittels thermischer Energiespeicherung	53
Widmer Michael	Wärmebedarfsprognose zur Regelung von Holzheizwerken	54
Wyrsh André	Entwicklung einer service- und montagegerechten Hyrantenmechanik	55
Wyrsh Patrik	Mars-Windrad – Konzept und Analyse für Ausfallsystem	56
Zraggen Tim	Erweiterung PCM-Zyklierapparatur mit Drop Kalorimeter und Wärmestromsensor	57
<b>Master-Theses</b>		58
Dossenbach Noah	Realisierung einer Frontend–Backend Kommunikationsschnittstelle in industriellen Automatisierungsanlagen	59
Fill Marc	One-Dimensional Modelling of Heat and Mass Transfer with Variable Material Properties	60
Hug Simon	Automatisierte Bestimmung von produktspezifischen Steuerungsparametern in der 2D-Linearfördertechnik	61
Jabornegg Sascha	Development of a Multi-Scale Approach for the Computation of Stresses near Clamps in Overhead Line Conductors	62
Kiener Anna	Improving Turbulence Models in RANS Simulations with Adjoint Method Field Inversion and Machine Learning Approaches	63
Schubaschitz Michael	Evaluation of pinch analysis projects in Swiss Industry - Energy efficiency measures and energy demand profiles	64
Trchsel Matteo	Thermodynamische Analyse und Optimierung einer Kaffeemaschine	65



Diplomand	Joël Amaudruz
Dozent	Prof. Dr. Peter Gruber
Projektpartner	Institut IME, Labor für Regelungstechnik
Experte	Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Themengebiet	Produktentwicklung & Mechatronik

## Furuta-Pendel für regelungstechnischen Laborversuch

### Ausgangslage

Für das Labor für Regelungstechnik der Hochschule Luzern wird ein neuer Laborversuch realisiert. Diese Labor bietet den Studierenden die Möglichkeit, praxisnahe Problemstellungen aus dem Bereich der Steuerungs- und Regelungstechnik zu lösen und das vermittelte Wissen direkt in die Praxis umzusetzen. Das Labor verfügt bereits über einen Versuch, bei dem ein Pendel durch eine Regelung in der instabilen Ruhelage gehalten wird. Dabei handelt es sich um ein lineares Pendel mit einer Laufbahnlänge von 2 Metern. Dieser Aufbau benötigt viel Platz, weshalb ein neuer Laborversuch geschaffen werden soll. Dieser soll ähnlich wie ein Furuta-Pendel aufgebaut sein. Ein Furuta-Pendel ist ein inverses Pendel, welches durch eine rotatorische Bewegung angeregt werden kann. Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus einem Arm (einer Drehachse), welcher an einem Ende angetrieben wird. Am anderen Ende des Armes befindet sich das Pendel. Dadurch lässt sich der Versuchsaufbau wesentlich kompakter gestalten.

Die Arbeit baut auf einem vorhergehenden Industrieprojekt auf, in welchem ein solcher Versuchsaufbau evaluiert, konstruiert und mit Matlab Simulink simuliert wurde. Im Rahmen dieser Arbeit soll dieser Versuchsaufbau getestet und mit einer Regelung versehen werden, damit dieser für die Ausbildung eingesetzt werden kann. Parallel zu dieser Arbeit wurde von einem Studierenden der Abteilung Elektrotechnik die Steuerung des Laborversuches realisiert.

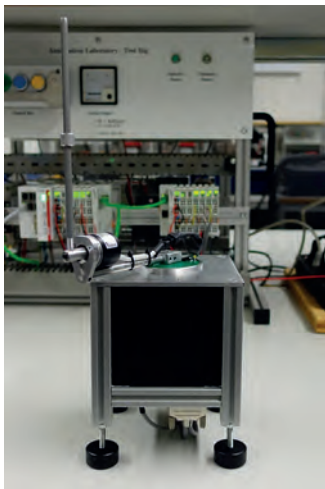


Abb. 1: Versuchsaufbau des Furuta-Pendels im Regelungstechnik Labor

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde das vorhandene physikalische Modell mit einem Modell eines Gleichstrommotors erweitert. Das gesamte physikalische Modell inklusive der auftretenden viskosen Reibung wurde in Simulink aufgebaut, um den gesamten Versuchsaufbau möglichst real simulieren zu können. Es wurden die Parameter des physikalischen Aufbaus mit Hilfe von Messungen ermittelt, welche anschliessend für die Simulation verwendet wurden.

Um das Pendel in die Nähe der senkrecht stehenden Lage zu befördern, wurden mehrere Aufschwingstrategien simuliert und getestet. Nach dem Aufschwingen soll das Pendel mit der Regelung in der aufrechten Lage gehalten werden. Es wurden zwei Regelungsvarianten entworfen und getestet. Bei der ersten Regelungsvariante wurde das Pendel mit einem herkömmlichen PID-T1 Regler stabilisiert. Um zusätzlich die Position des Armes zu regeln, wurde ein zweiter paralleler PID-T1 Regler implementiert. Für die zweite Regelungsvariante wurde ein Zustandsregler entworfen, mit welchem die Positionen und Geschwindigkeiten des Armes und des Pendels geregelt wurden.

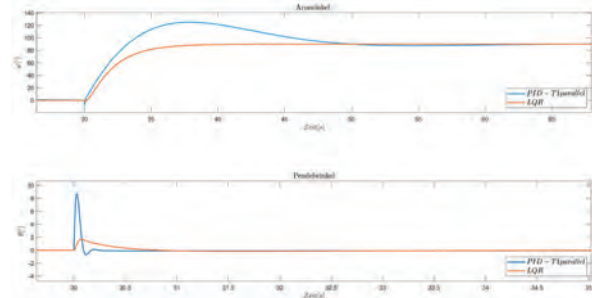


Abb. 2: Simulationsvergleich Zustandsregler und PID-T1 parallel mit Referenzgrössensprung der Armwinkelposition von  $0^\circ$  auf  $90^\circ$  unter Beibehaltung der aufrechten Pendellage

### Ergebnis

Mit dieser Arbeit konnte der Laborversuch Furuta-Pendel soweit fertig gestellt werden, dass dieser im Labor eingesetzt werden kann. Es wurde nachgewiesen, dass ein Furuta-Pendel auch mit zwei parallelen PID-T1 Reglern stabilisiert werden kann. Die Zustandsregelung ist jedoch viel schneller und robuster. Zusätzlich wurde ein möglicher Ablauf eines Laborversuches erarbeitet, mit dem Studierende die Problemstellung des Furuta-Pendels in der Praxis erfahren können.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Joel Baccalà  
Prof. Dr. Sabri Deniz  
RSR Dockings AG  
Dr. Joel Schlienger  
Energien, Fluide und Prozesse

## Konzeptstudie einer Wasserturbine für die Installation bei Schiffliegstellen an Flüssen

### Ausgangslage

Durch Flüsse fließt permanent eine grosse Menge Energie, welche zum grossen Teil nicht ausgenutzt wird. An Schiffliegstellen könnte diese Energie durch Turbinen ganz ohne Aufstauung entnommen werden. Diese ist die Idee der RSR Dockings, die bei ihren acht Liegestellen die Strömungsenergie mit Turbinen ausnutzen möchte. Dabei stellen sich folgende Randbedingungen: die mittlere Flussgeschwindigkeit beträgt ca. 2.5 m/s und der verfügbare Platz unter den Ponton ist 0.75 m hoch und 4 m breit.



Abb. 1: H-Darrieus Turbine EVG-005 der New Energy Corporation

### Vorgehen

Es wurden verschiedene Turbinen untersucht, welche kostengünstig und einfach in die Schiffliegstellen integriert werden können. Dabei war die Herausforderung, eine Turbine zu finden, die bei eingeschränkter Höhe eine nutzbare Leistung herbringt, wartungsarm ist oder im Inneren des Pontons gewartet werden kann. Der Vergleich der möglichen Turbinen-Technologien führte zum Ergebnis, dass sich für die Pontonintegration die H-Darrieus Turbine (Abb. 1) und die kinetische Turbine (Abb. 3) eignen. Es wurden die Eigenschaften, Vorteile, Nachteile und Kosten dieser Turbinen untersucht und verglichen. Für beide Technologien wurden CAD-Zeichnungen der Anlage sowie ein Elektroschema für die Leistungselektronik erstellt.

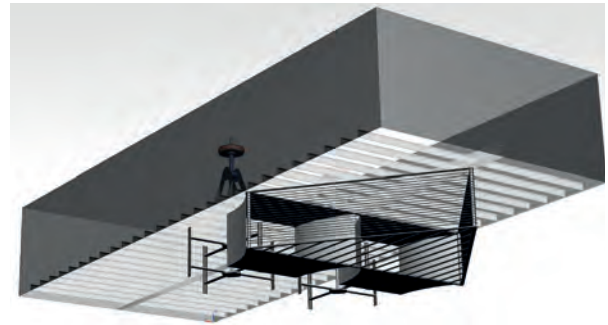


Abb. 2: CAD Modell des Pontons mit integrierter H-Darrieus Turbine und Eintrittsdüse

### Ergebnis

Beide Turbinen-Typen erzeugen eine Leistung von ca. 3 kW. Mit zwei Turbinen pro Ponton sind 6 kW möglich (Abb. 2). Die Amortisationsdauer einer solchen Anlage beträgt 4 bis 5 Jahre und erzielt einen Ertrag von ungefähr 8000 €/a. Da die zwei Turbinen-Typen in unterschiedlichen Bereichen sich konkurrenzieren, kann keine eindeutige Aussage über die am besten geeignete Turbine gemacht werden. Die Ergebnisse zeigen aber auf, dass eine stromgewinnende Anlage an Pontons technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist.

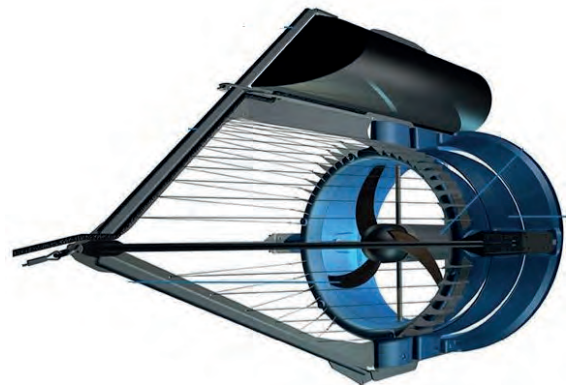


Abb. 3: Kinetische Turbine der Smart Hydro Power





**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Dominic Bacher  
Prof. Dr. Johann Lodewyks  
Louis Palmer - Solar Butterfly  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Antriebstechnik für Solar Butterfly

### Ausgangslage

Mit dem Projekt «Solar Butterfly» soll das erste solarbetriebene «Mobil Home» der Welt realisiert werden, welches die benötigte Energie für das vorgespannte Elektroauto selbst produziert. Ausgestattet mit zwei ausfahrbaren Raumelementen und einem aufklappbaren Solardach von total 100 m<sup>2</sup>, soll Strom für eine Reichweite von bis zu 200 km pro Tag produziert werden können.

Mit dem «Solar Butterfly» sollen während vier Jahren alle sechs Kontinente befahren werden, um die Menschen für das Thema Klimaschutz und Elektromobilität zu sensibilisieren. Ziel dieser Arbeit war es, als Teil eines vierköpfigen Entwicklungsteams, ein Antriebskonzept für die beweglichen Elemente des «Solar Butterfly» zu erstellen sowie die Antriebe auszulegen.

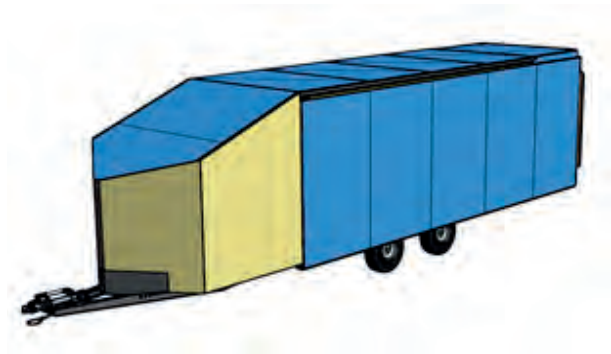


Abb. 1: Solar Butterfly eingefahren

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie das vorhandene Konzept mit den vorgegebenen Antriebsarten umgesetzt werden kann. Dabei stellte sich heraus, dass damit keine zufriedenstellenden Resultate erzielt werden können. Anschliessend wurde das Konzept teilweise abgeändert und mit neuen Ansätzen versucht, bessere Ergebnisse zu erzielen. In mehreren Optimierungszyklen wurde das Antriebskonzept anschliessend bezüglich des Gewichtes optimiert.

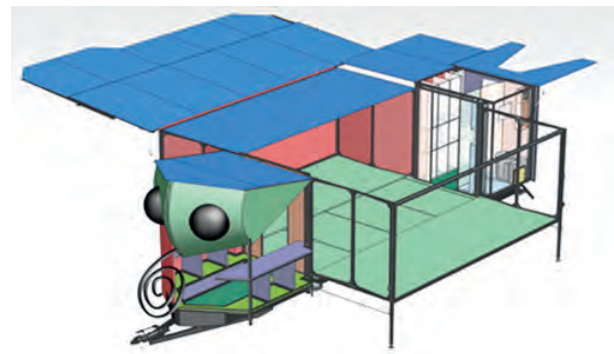


Abb. 2: Solar Butterfly ausgefahren

### Ergebnis

Aufgrund des maximal zulässigen Gewichtes musste das Antriebskonzept mehrere Male überarbeitet werden. Das finale Konzept setzt sich aus einer Kombination aus Gasdruckfedern und Seilwinden für die aufklappbaren Flügel sowie Pneumatik-Zylinder für das Ausfahren der Raumelemente zusammen.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Niklaus Bangerter  
Prof. Dr. Jörg Worlitschek  
COWA Thermal Solutions AG  
Dr. Kai Lieball  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Experimentelle Charakterisierung von makroverkapselten PCM in einem Zyklierapparat

### Ausgangslage

Die COWA Thermal Solutions AG entwickelt makroverkapselte Phasenwechselmaterialien (PCM) zur Speicherung von Latentwärme, welche als Schüttgut in Wärmespeichern zum Einsatz kommen. Aufgrund der Wärmespeicherkapazität des verkapselten PCM kann so die Energiedichte ( $\text{kWh/m}^3$ ) bestehender Speicheranwendungen erhöht und Neuinstallationen kompakt realisiert werden. Das PCM soll während einer Nutzungszeit von 20 Jahren (4000 – 10'000 Schmelz- und Erstarrungszyklen) möglichst gleichbleibende Speichereigenschaften aufweisen. Um die Zyklenstabilität des PCM untersuchen zu können, wurde am Kompetenzzentrum Thermische Energiespeicher ein Zyklierapparat gebaut, mit welchem der Alterungsprozess der PCM-Kapseln durch das Durchlaufen einer Vielzahl von Zyklen in kürzerer Zeit beschleunigt, Veränderungen in deren Leistungsfähigkeit gemessen und so die Zyklenstabilität beurteilt werden kann. Ziele der Arbeit waren die Anpassung und die Inbetriebnahme des Zyklierapparates sowie die Durchführung und Auswertung einer Messreihe mit PCM-Kapseln.

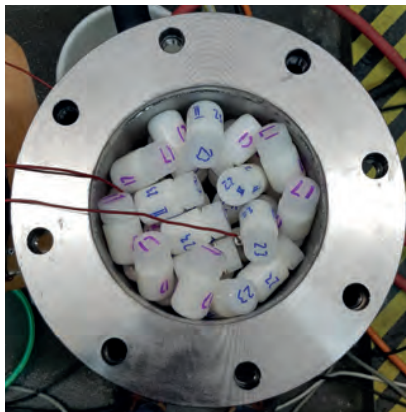


Abb. 1: Geöffneter Speicherbehälter mit PCM-Kapseln

### Vorgehen

Mit einem neuen Speicher (Abb. 1) wurde das Volumen für Kapseln zunächst von 2 auf 10 Liter vergrößert und die Parameter der Regelungs- und Messsoftware angepasst und überprüft. In einer Messreihe wurden dann 116 PCM-Kapseln in den Speicherbehälter gefüllt und diese im Kontakt mit Wasser als Wärmeträgerfluid zyklisch erhitzt und abgekühlt (Abb. 2). Der Speicher wurde unter Berücksichtigung der Wärmeverluste energetisch bilanziert. Anhand der Temperaturverläufe am Ein- und Austritt (Abb. 3) wurde die Speicherleistung und -kapazität des PCM während des Schmelzens und Erstarrens berechnet und Veränderungen intervallweise überprüft.

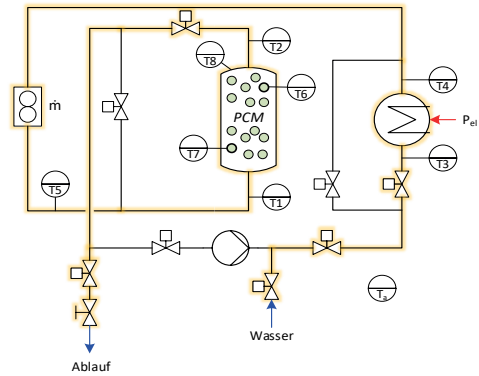


Abb. 2: Schema Zyklierapparat während Zyklervorgang

### Ergebnis

Der Zyklierapparat wurde im Rahmen der Arbeit erfolgreich fertiggestellt und in Betrieb genommen. Die Funktion des Apparates wurde in rund 30 Experimenten überprüft. Er erfüllt die Anforderungen, um makroverkapseltes PCM auf langzeitige, thermische Zyklenstabilität zu untersuchen. Mit der Messreihe konnte einerseits die Funktion des Zyklierapparates und andererseits das Phasenwechselmaterial eingehend untersucht werden. Mit den Resultaten konnte gezeigt werden, dass die Messzyklen mit einer hohen Genauigkeit reproduziert und Phasenwechsel, Energietransfer sowie deren Veränderungen genau gemessen werden können.

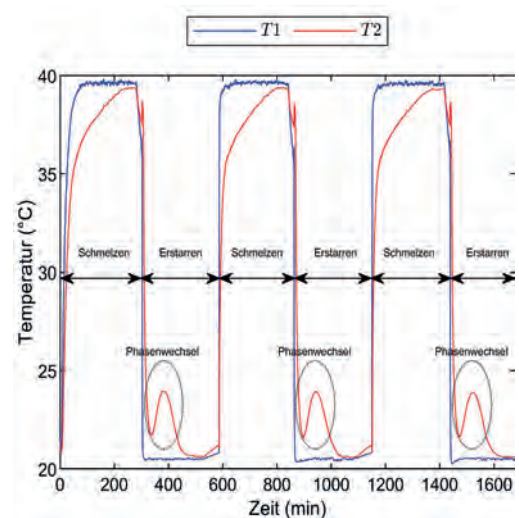


Abb. 3: Temperaturverläufe am Eingang (T1) und Ausgang (T2) des Speichers während 3 Messzyklen mit PCM-Kapseln



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Fabian Bienz  
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis  
bodus GmbH  
Dr. Giovanni Mastrogiacomo  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Elektrischer Antrieb für Greifzange

### Ausgangslage

Die bodus GmbH ist eine erfolgreiche und international operierende Schweizer Firma auf dem Gebiet der Kanaltechnik. Die Kernkompetenzen liegen im Bereich der Kanalsanierung von Hausanschlussleitungen. Bestandteil des Produktportfolios ist eine pneumatisch angetriebene Greifzange. Diese kann in der Standardausführung bis zu 25 m tief in ein Rohrsystem eingeschoben werden, um steckengebliebene Gegenstände zu greifen und zu entfernen. Für den Betrieb der Greifzange ist das Mitführen eines Kompressors mit Druckluftschlauch zur Druckluftversorgung notwendig. Zur Beseitigung dieser Nachteile wird die Elektrifizierung des Greifzangenantriebs angestrebt. Zusätzlich soll die neue Greifzange beim Greifvorgang besser positionierbar sein. Das Kernziel dieser Bachelorthesis ist es, die technische Machbarkeit eines elektrischen Greifzangenantriebs zu prüfen und die erreichbaren Greifkräfte aufzuzeigen.

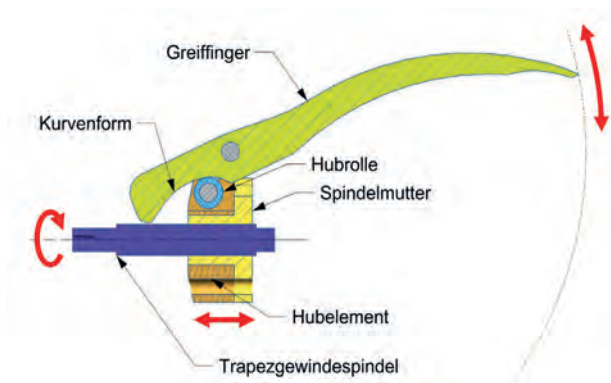


Abb. 1: Schnittansicht Hubgetriebe

### Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in die vier Phasen Analyse, Konzept, Entwurf und Realisierung. Nach ausführlicher Analyse der bestehenden Greifzange und systematischer Lösungsfindung erfolgte die Ausarbeitung des Lösungskonzeptes. Zentraler Bestandteil der Entwicklung stellte die Auslegung des Hubgetriebes im Zangenantrieb dar, welches die Linearbewegung des Hubelements in eine Drehbewegung am Greiffinger übersetzt (Abb. 1). Dazu wurde ein Berechnungsmodell zur optimalen Auslegung der Kurvenform am Greiffinger entwickelt, um die Greifkräfte zu maximieren. Der zur Verfügung stehende Bauraum war durch die vorgegebene Rohr- und Bogengängigkeit stark eingeschränkt. Das entwickelte Dreifinger-Greifmodul (Abb. 2) wurde anschliessend als Funktionsmodell realisiert und getestet.

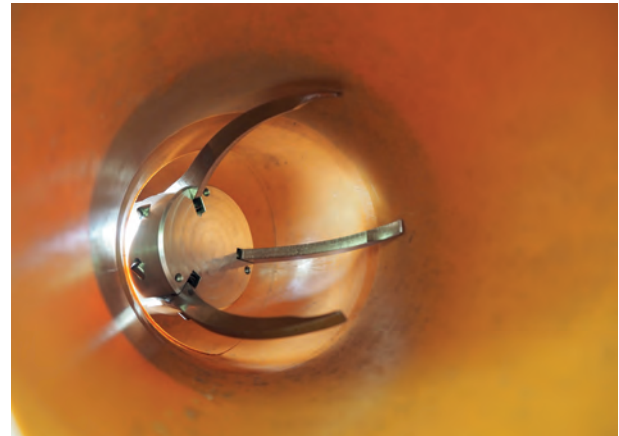


Abb. 2: Funktionsmuster des Dreifinger-Greifmoduls

### Ergebnis

Das Funktionsmuster erreicht, verglichen mit der pneumatischen Greifzange, mehr als die doppelte Greifkraft und erfüllt die Rohr- und Bogengängigkeit. Wie in Abb. 3 ersichtlich, beträgt die Greifkraft über den gesamten Greifbereich von 3 bis 84 mm mehr als 100 N pro Greiffinger.

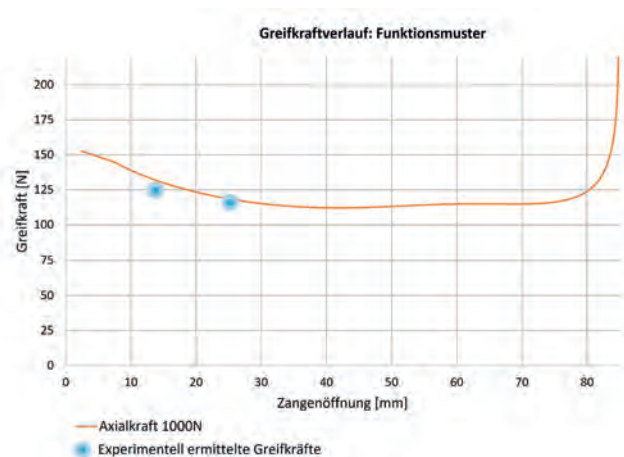


Abb. 3: Modellierter Greifkraftverlauf des Funktionsmusters inkl. zwei experimentell bestimmter Greifkraftwerte



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Mario Brand  
Prof. René Bärtsch  
GIS AG  
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Integrierte Lastmessung bei Kettenzug

### Ausgangslage

Im Segment der Kettenzüge etabliert sich ein Standard, der für jeden Kettenzug eine permanente Lastüberwachung fordert. Dabei ist eine externe Lastmessung in der Serie nicht wirtschaftlich, benötigt zu viel Platz und ist schlecht gegen Umwelteinflüsse geschützt.

Die Firma GIS AG in Schötz ist ein weltweit agierender Hersteller von Elektrokettensystemen und sieht die langfristige Notwendigkeit einer serienmässigen integrierten Lastmessung.

In einer ersten Projektarbeit wurde ein entsprechendes Messkonzept erarbeitet. Das Messkonzept Getrieberad-Axialkraft sieht vor, über die Grösse der Axialkraft an der Kettenradwelle (Abb. 1) die Last an der Kette zu bestimmen. Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung der Realisierbarkeit und Praxistauglichkeit dieses Messkonzeptes.

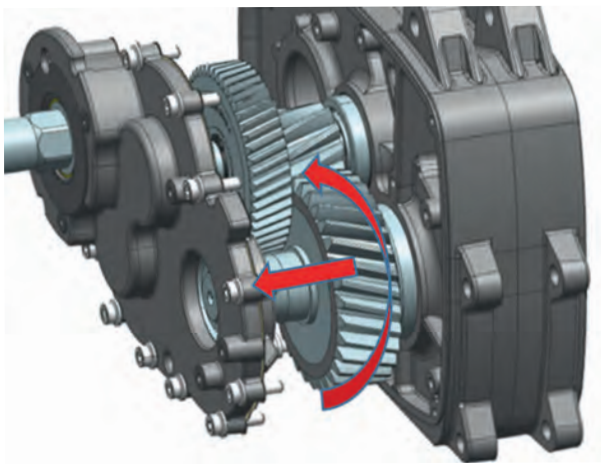


Abb. 1: Kettenradwelle mit Axialkraft

### Vorgehen

Zu diesem Zweck werden mehrere Kettenzuggetriebe statischen Messungen unterzogen. Die Getriebe werden mit einer Universalprüfmaschine belastet (Abb. 2) und die dadurch resultierende Axialkraft an der Getriebebewelle gemessen und aufgezeichnet (Abb. 3). Um den Einfluss der Passungen der beiden Lagerstellen auf die Grösse der Axialkraft zu bestimmen, werden die Masse der Gehäusebohrungen variiert.

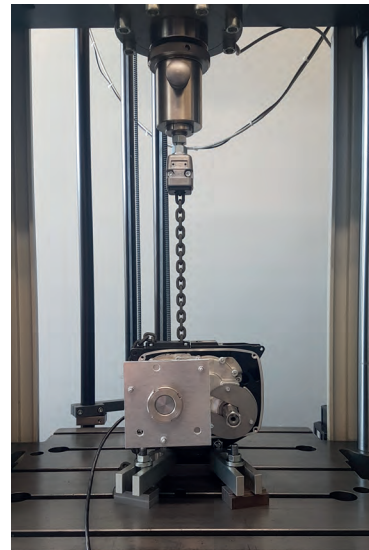


Abb. 2: Belastung eines Kettengetriebes auf der Universalprüfmaschine

### Ergebnis

Eine Analyse der erhaltenen Daten zeigt auf, dass an den beiden Lagerstellen grosse Reibkräfte wirken. Der Einfluss der Passungen ist ebenfalls ersichtlich. Die Weiterverfolgung des Konzeptes macht nur unter zwei Bedingungen Sinn. Erstens müssen die Getriebe Spielpassungen aufweisen. Zweitens muss die Kraftmessung anhand der Deformationen mit Dehnmessstreifen realisiert werden und nicht wie vorgesehen mittels einer Kraftmessfolie.

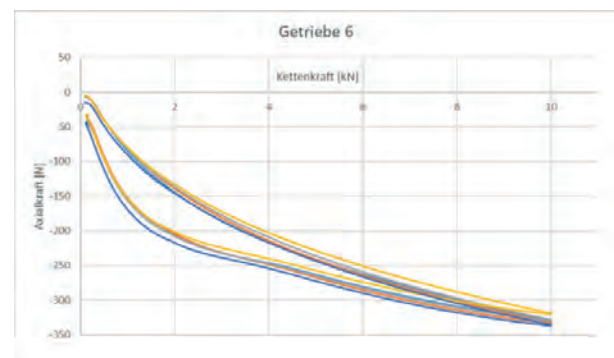
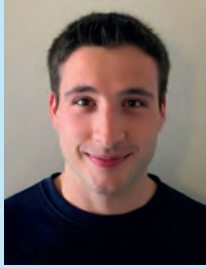


Abb. 3: Streuung der Getrieberad-Axialkraft bei verschiedenen Exemplaren in Funktion der Kettenkraft



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Lars Brantschen  
Prof. Dr. Ulf Christian Müller  
V-ZUG AG  
Dr. Joel Schlienger  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Hardware-in-the-Loop-Anwendungen für 1-D-Systemmodelle

### Ausgangslage

Das Kompetenzzentrum für Fluidmechanik und Hydromaschinen an der Hochschule Luzern verfolgt ein Innosuisse Projekt mit der V-ZUG. Dabei soll ein digitaler Zwilling eines Backofens realisiert werden. Unter Anwendung modellbasierter Reglerauslegung, sowie Hardware-in-the-Loop-Simulationen soll der Entwicklungszyklus eines Reglers optimiert werden. Dazu bieten sich die in Abb. 1 dargestellten Kombinationsmöglichkeiten an. Es soll aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten, aber auch Schwierigkeiten sich bei Hardware-in-the-Loop-Simulationen von Modelica-Modellen ergeben können. Als Software-Umgebung wird Dymola verwendet. Zu diesem Zweck werden mehrere Use-Cases erarbeitet, um die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten umzusetzen. Dadurch soll ein eventueller Einsatz für den digitalen Zwilling des Backofens erleichtert werden.

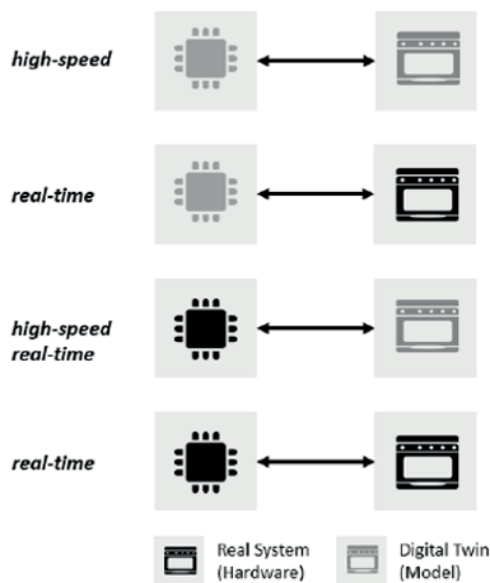


Abb. 1: Kombinationsmöglichkeiten

### Vorgehen

Als Einstieg wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um mit der Thematik vertraut zu werden. Darauf folgte die Einarbeitung in die Simulationsumgebung Dymola mit dem

Fokus auf HiL-Simulationen. Dazu mussten die wichtigsten Prozesse sowie Voraussetzungen für die Kopplung mit externer Hardware erarbeitet werden. Parallel dazu wurde eine geeignete Hardware-Umgebung bestimmt. Danach ging es um die Erarbeitung von geeigneten Use-Cases, welche als Technologiedemonstratoren eingesetzt werden sollen. Nach deren Bestimmung konnte mit der Implementierung begonnen werden.

### Ergebnis

Anhand der erarbeiteten Use-Cases konnten Möglichkeiten als auch Schwierigkeiten im Zusammenhang mit HiL-Anwendungen und Modelica aufgezeigt werden. Die Abb. 2 zeigt ein Case, bei dem ein Ping-Pong-Ball in einem vertikalen Rohr in eine vorgegebene Position gebracht und dann gehalten wird. Dabei wurde der Vorgang mittels eines mit Modelica implementierten Reglers über eine externe Hardware geregelt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann eine zukünftige Nutzung erleichtert werden.



Abb. 2: Use-Case Levitator



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

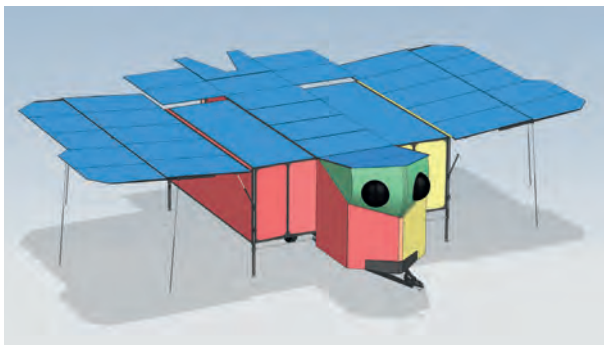
**Yannick Buholzer  
Prof. Dr. Rolf Kamps  
Louis Palmer  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Entwicklung Ausfahr- und Klappmechanismus für Solar Butterfly

### Ausgangslage

Louis Palmer, ein Luzerner Unternehmer und Klimaaktivist, ist der Initiator und Projektleiter des Solar Butterfly. Der Solar Butterfly ist ein komplett autark solarbetriebener Wohnwagen, welcher von einem Elektroauto gezogen wird. Mit ihm möchte Louis Palmer einmal um die Welt reisen und dabei Projekte und Pioniere rund um das Thema «Klimawandel» besuchen und unterstützen. Die Arbeit hat das Ziel, die Klapp- und Ausfahrmechanismen der ausfahrbaren Raumelemente und ausklappbaren Solarpanels des Solar Butterflys zu entwickeln.

Der Solar Butterfly besitzt eine ca. 100 m<sup>2</sup> grosse, aufklappbare Solarpanelfläche im Design eines Schmetterlings. Er enthält drei Räume: ein Bad, eine Küche und ein Mittelkörper. Dieser Mittelkörper kann durch zwei ausfahrbare Raumelemente vergrössert werden.

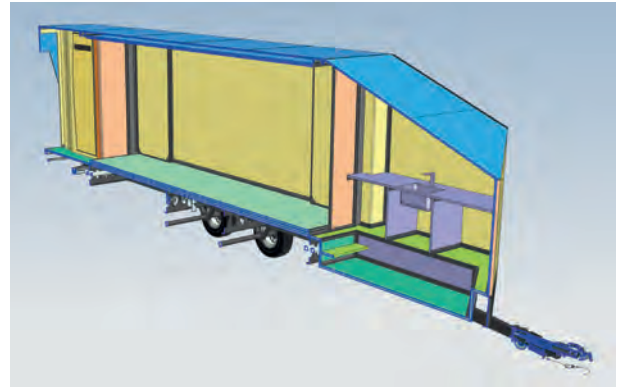


**Abb. 1:** Der Solar Butterfly im ausgeklappten Zustand (blaue Fläche → Solarpanels)

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde zwei Lösungsvarianten der Ausfahr- und Klappmechanismen ausgearbeitet und dazu je ein Kartonmodell erstellt. Diese dienen als Entscheidungsgrundlage und bei vielen Diskussionen als Anschauungsobjekt. Anschliessend sind die verschiedenen Komponenten der Mechanismen ausgearbeitet und definiert und ein CAD-Modell davon erstellt worden. Ein Versuch im Werkstofflabor lieferte zudem die fehlenden Festigkeitsangaben der Kevlar-Scharniere. Abschliessend wurden mittels Berechnungen die eingesetzten Scharniere verifiziert.

Die Arbeit ist in Zusammenarbeit mit drei weiteren Studenten, welche ihre Bachelor-Thesis zu anderen Teilgebieten des Solar Butterflys erarbeitet haben, durchgeführt worden. Dazu fand wöchentlich ein Meeting inkl. dem Projektleiter statt.



**Abb. 2:** Schnittdarstellung des eingeklappten Solar Butterflys

### Ergebnis

Die ausfahrbaren Raumelemente fahren mittels durch Stangenscharniere bewegliche Seitenwände aus. Tragend sind dabei die Seitenwände und die Stangenscharnieren (ähnlich ausfahrbare Bildschirmhalterung). Die Wände und der Boden bestehen aus Sandwichplatten mit einem PET-Kernmaterial und einer Aluminium-Deckschicht. Auf die Decke sind Solarzellen auflaminiert.

Die Solarpanels werden durch verschiedene Antriebstechniken aufgeklappt. Als Scharnier fungieren ultraleichte Kohlenfaser-Kevlar-Scharniere. Diese wurden bei verschiedenen Versuchen auf ihre maximalen Belastungen getestet.

Die Raumelemente und die Solarpanels sind in zwei Zuständen stabil: Eingefahren und ausgefahren. Verschiedene Sicherungsmechanismen erzeugen die notwendige Stabilität (z. B. Stützen der Solarpanels).



**Abb. 3:** Kohlenfaser-Kevlar-Scharnier von Pinet Industrie



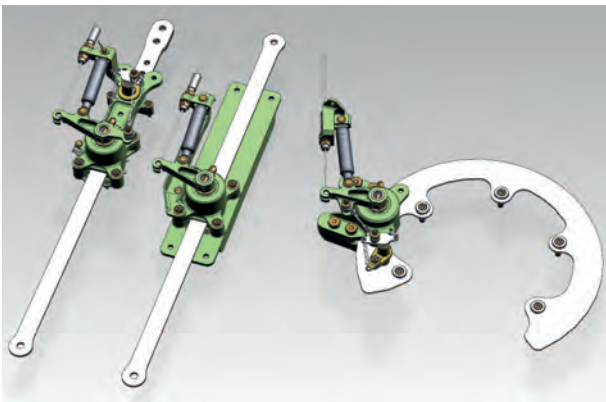
**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Adrian Christen  
Prof. Dejan Romančuk  
Keine Angabe  
M. Sc. ETH Tobias Waeber  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Feststell- und Arretiermechanismus für Anwendung in der Luftfahrt

### Ausgangslage

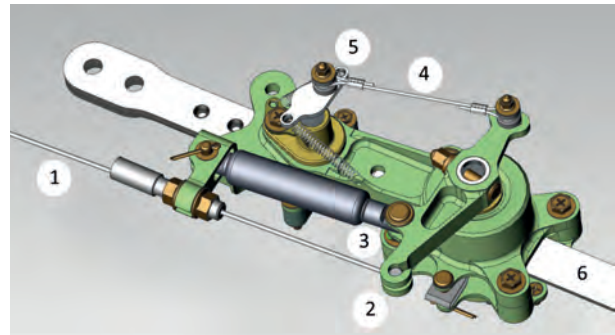
Für eine einstellbare Konsole, welche in der Luftfahrt eingesetzt wird, ist ein Feststell- und Arretiermechanismus zu entwickeln. Die Konsole kann entlang von zwei Translationsachsen und einer Rotationsachse eingestellt werden. Die Feststellung muss die einstellbare Konsole in jeder beliebigen Position des Einstellweges blockieren können. An einer definierten Position muss die Arretierung die Konsole formschlüssig mit der tragenden Struktur verbinden. Es gilt das Lösungskonzept als Leichtbaukonstruktion zu konzipieren. Der Mechanismus muss einen geringen Platzbedarf aufweisen und sich in eine vorgegebene Struktur integrieren lassen. Für die manuelle Betätigung des Feststell- und Arretiermechanismus ist eine maximale Betätigungsarbeit vorgegeben. Der Einsatz von elektrischen und hydraulischen Komponenten ist untersagt.



**Abb. 1:** Feststell- und Arretiermechanismus der drei einstellbaren Achsen

### Vorgehen

Für die Konzeptentwicklung wurden die geometrischen Randbedingungen und die vorhandenen Richtlinien analysiert. Mit der Methode des morphologischen Kastens konnten drei Konzeptvarianten erarbeitet werden. Von diesen wurden CAD-Modelle mit niedrigem Detaillierungsgrad erstellt. Dies ermöglichte eine fundierte Bewertung der erstellten Konzeptvarianten. Von der besten Variante wurde ein detailliertes CAD-Modell ausgearbeitet. Bei den wichtigsten Komponenten wurde der kritische Lastfall ermittelt und eine Vorauslegung durchgeführt.



**Abb. 2:** Feststell- und Arretiermechanismus einer Translationsachse. (1) Seilzug, (2) Hebel, (3) Gasdruckfeder, (4) Verbindungsseil, (5) Arretierbolzen, (6) Schiene

### Ergebnis

Für das Feststellen und Arretieren der drei einstellbaren Achsen wurden drei Feststellungen und zwei Arretierungen entwickelt (Abb. 1). Mit einem Feststellmechanismus kann jeweils eine einstellbare Achse blockiert werden. Ein Arretierungsmechanismus erzeugt, entlang von jeweils einer Achse, einen Formschluss zwischen der einstellbaren Konsole und der festen Struktur.

Mit dem entwickelten Lösungskonzept des Feststell- und Arretiermechanismus wird auf engstem Bauraum und mit einer geringen Betätigungsarbeit eine hohe Klemmkraft erzeugt.

Für eine weitere Ausarbeitung des entwickelten Lösungskonzept sind die in der Vorauslegung getroffenen Annahmen mittels Versuche zu verifizieren. Weiter wird die Erstellung eines Funktionsmusters empfohlen.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Jonas Düggeli  
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter  
SBB AG  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Software-System für das SBB Heisswasser-Spritzfahrzeug

### Ausgangslage

Die SBB sucht für die Zukunft eine alternative Art, um Unkraut auf ihren Gleisen zu bekämpfen. Bis jetzt gehen Gleisarbeiter den Gleisen entlang und versprühen gezielt Glyphosat auf die ungetretenen Pflanzen. In Zukunft wird die SBB aber auf Glyphosat verzichten müssen. Ein Ersatz dafür ist das Bespritzen der Pflanzen mit 95°C heissem Wasser. Dazu baute die SBB für Forschungszwecke ein Testfahrzeug – einen Zug mit Zisternen (Abb. 1). Dieses besteht aus einer Lokomotive, zwei Sprühwagen und zwei Tankwagen.

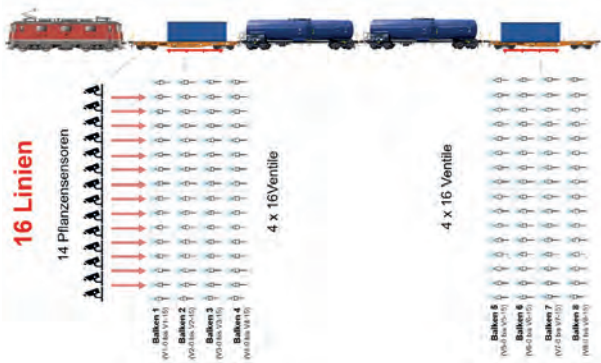


Abb. 1: Aufbau des Heisswasser-Spritzfahrzeug

Die Sprühwagen sind mit jeweils 64 Ventilen ausgestattet. Um zu erkennen, wo sich die Pflanzen befinden, sind auf dem ersten Spritzwagen 14 Sensoren zur Detektion von Pflanzen angebracht. Es hat sich aber gezeigt, dass diese Art der Kartierung zu ungenau ist.

Diese Pflanzensensoren möchte die SBB durch ein GPS-basiertes System ersetzen. Sie will zeitlich unabhängig die Pflanzen kartieren und dann später anhand von diesen GPS-Karten präzise auf die Pflanzen das Heisswasser spritzen. Damit die dazu notwendige Software nicht selbst entwickelt werden muss, wird eine existierende Software AgOpenGPS eingesetzt. Dieses OpenSource-Programm wird in der Landwirtschaft zur automatisierten teilflächenspezifischen Mengenregelung, z.B. beim Ausbringen von Dünger, eingesetzt. Die SBB nutzt dabei die sogenannte «variable-rate Application». Diese ist dafür zuständig, dass die Ventile automatisch geöffnet und geschlossen werden. Im Einsatz wird die aktuelle Position mit der GPS-Karte verglichen und entschieden, welche Ventile sich über einer Pflanze befinden und geöffnet werden müssen. Für die SBB soll nun untersucht werden, wie die Software für diesen Zweck eingesetzt werden kann, vorzugsweise ohne dass der Quellcode verändert werden muss.

### Vorgehen

In dieser Arbeit wurde in mehreren Phasen gearbeitet. Die erste Phase beurteilte nur die Oberfläche der Software. Dabei wurde analysiert, ob die Software einsetzbar ist und wo Verbesserungspotential besteht. In der zweiten Phase wurde der Quellcode analysiert. Dort simulierte man den Ablauf des Programmes und dokumentierte diesen. Zusätzlich wurden einzelne Passagen vertieft analysiert und Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet. Nach diesen zwei Phasen konnte eine Empfehlung zum Einsatz der Software mit Modifikation abgegeben werden. Danach folgte die dritte Phase, in welcher der Code vertiefter analysiert wurde.

### Ergebnis

Die Analyse zeigt klar, dass es sich beim Programm um ein OpenSource-Projekt handelt. Der Fokus der Software liegt nicht primär bei der «variable-rate Application». Die Software ist zwar ohne Veränderungen einsetzbar, macht es aber in Zukunft schwierig, neue Anpassungen vorzunehmen. Die Präzision der bestehenden Software ist für die Zukunft wohl nicht ausreichend. Der SBB wird deshalb empfohlen, selbst eine Software zu entwickeln.

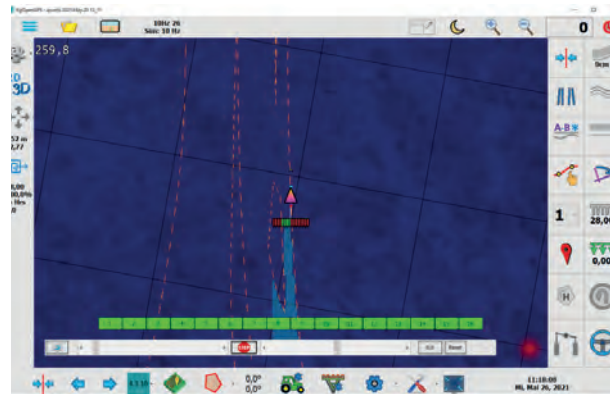


Abb. 2: Oberfläche der Software AgOpenGPS





**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Mathias Elmiger  
Prof. Dr. Johann Lodewyck  
Keller Ziegeleien AG  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Entwicklung eines hydraulischen Tondr ck-Antriebes

### Ausgangslage

Die Hochschule Luzern betreibt in Zusammenarbeit mit der Firma Keller Ziegeleien AG das Forschungsprojekt EXXE. In diesem Projekt werden Möglichkeiten erforscht, wie mittels Werkzeugen bei der Herstellung von Sichtbacksteinen, sogenannten Klinker, Farbe auf diese appliziert und die Oberfläche des Tones mit verschiedensten Musterungen versehen werden kann.

Das konkrete Ziel besteht dabei in der Entwicklung eines Systems von miteinander kombinierbaren Werkzeugen, die diese Aufgaben erfüllen. In dieser Bachelorthesis wird der hydraulische Antrieb für einen Dr ckmechanismus zur Verformung des Steins entwickelt.



Abb. 1: Sichtbackstein-Produktionsanlage



Abb. 2: Hydraulischer Servozylinder Antrieb

### Vorgehen

In einer Testreihe wurden die benötigten Antriebsauslegungsparameter messtechnisch ermittelt. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde die komplette Antriebsmechanik neu konzipiert und ausgearbeitet. Kritische Punkte und die Festigkeit der Bauteile wurden mit Berechnungen und FEM-Modellen analysiert und optimiert.

### Ergebnis

Das Ergebnis ist die betriebsbereite Antriebsmechanik für die Prototypanlage, mit der die geforderte Funktion des Dr ckmechanismus unter Praxisbedingungen getestet werden kann. Nach Abschluss dieser Tests wird die Ausführung des hydraulischen Antriebs genauer definiert. Abb. 2 zeigt einen hydraulischen Servozylinder-Antrieb mit integriertem Wegmesssystem von der Firma Hagenbuch Hydraulic Systems.

Mit der Konzeptentwicklung und der Auslegung der Komponenten wurde die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung gelegt.



**Diplomanden  
Dozent**

**Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

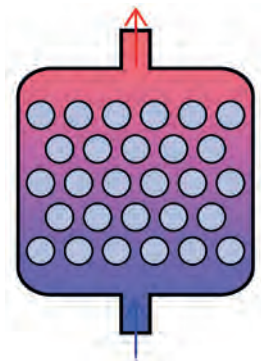
**Benjamin Fenk  
Prof. Dr. Philipp Schütz,  
Dr. Anastasia Stamatiou  
Cowa Thermal Solutions AG  
Dr. Kai Lieball  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Numerische und experimentelle Untersuchung des Druckabfalls um Kapseln in Latentwärmespeichern

### Ausgangslage

Die steigende Wichtigkeit von erneuerbaren Energien und der hohe Bedarf an Wärme verstärken das Interesse an thermischen Energiespeichern stetig. Eine Art von Wärmespeicher sind Latentwärmespeicher mit makroverkapseltem Phasenwechselmaterial. Diese Systeme speichern grosse Mengen an Wärme durch Phasenübergang und können diese Energie bei nahezu konstanter Temperatur wieder freigeben. Neu werden diese Phasenwechselmaterialien in Kapseln in einer Festbettkonfiguration eingebaut. Während der Be- bzw. Entladung des Speichers werden die Kapseln mit einem Wärmeübertragungsfluid umströmt.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein geeignetes numerisches Verfahren zu finden, mit welchem der Druckabfall über verschiedene Festbettkonfigurationen bestimmt werden kann. Zur Validierung werden experimentelle Messungen durchgeführt. Zusätzlich soll der Druckabfall, mithilfe von etablierten Beziehungen (Ergun-Gleichung), analytisch berechnet werden.

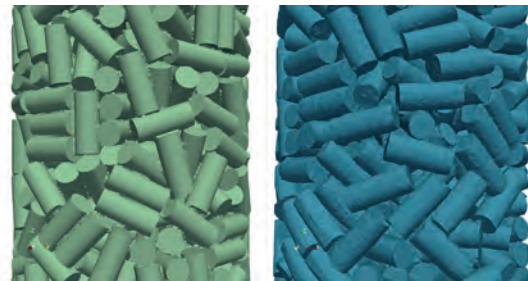


**Abb. 1:** Schema eines Latentwärmespeichers mit makroverkapseltem PCM beim Entladen. Die Farbskala (blau nach rot) gibt die Temperatur an

### Vorgehen

Auf Basis der Ergun-Gleichung wird der Druckabfall abgeschätzt und ein passender Experimentaufbau konzipiert und gebaut. Partikel mit verschiedenen Geometrien werden anschliessend ausgewählt und gefertigt. Die daraus resultierenden Festbett-Schüttungen werden mit einem industriellen Computertomographen vermessen und somit die jeweilige Struktur digitalisiert. Zudem werden ähnliche Schüttungen mit der Software Blender erstellt. Zur experimentellen Validierung werden die physischen Festbetten im Experimentaufbau mit Wasser durchströmt. Dabei wird der Druckabfall über das Festbett gemessen. Mit den digitalen Abbildern der Festbetten wird der Druckabfall numerisch berechnet. Dazu

werden drei unterschiedliche Simulationsprogramme Volume Graphics Studio Max 3.3, GeoDict (jeweils in der Stokes-Näherung) und coupledNumerics eingesetzt. Sämtliche erhaltenen Daten werden miteinander verglichen und auf ihre Plausibilität überprüft.



**Abb. 2:** Festbettausschnitt erstellt mit Blender (links) und mit CT-Scan (rechts)

### Ergebnis

Der Vergleich der Daten zeigt eine Diskrepanz zwischen den Resultaten der Ergun-Gleichung und des Experiments von bis zu 80 %. Die Resultate von VGSTUDIO und GeoDict zeigen, dass ein Stokes-Solver nicht geeignet ist. Coupled-Numerics liefert von allen numerischen Methoden die plausibelsten Resultate. Allerdings sollte die Netzgenerierung optimiert werden, um repräsentative Resultate zu erhalten.



**Abb. 3:** Simulierte Druckverteilung (coupledNumerics)



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Samuel Geissler  
Prof. Dr. Johann Lodewyck  
Belimed Life Science  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Konzept eines Systems zum Antreiben und Kontrollieren eines Sprüharmes in einer Reinigungsanlage

### Ausgangslage

Die Firma Belimed Life Science produziert Reinigungsanlagen und Dampfsterilisatoren für Life Science Anwendungen. Bei diesem Projekt wird ein System entwickelt, welches die vollständige Kontrolle der Sprüharme in einer Reinigungsanlage ermöglicht.

Grundsätzlich sind die Reinigungsarme ähnlich aufgebaut wie jene in einer Spülmaschine. Sie werden durch schräg angeordnete Wasseraustrittsbohrungen angetrieben und dadurch in Rotation versetzt. Durch diese Bohrungen kann allerdings weder die Drehgeschwindigkeit noch die Drehrichtung der Wascharme während des Prozesses verändert werden.

Das Ziel besteht darin, die Drehgeschwindigkeit und Drehrichtung während dem Reinigungsprozess aktiv einstellen und regeln zu können. Damit kann der Reinigungsprozess den unterschiedlichen Waschgütern entsprechend angepasst und Sprühschatten durch unterschiedliche Drehrichtungen verkleinert werden.



**Abb. 1:** Vorversuchsaufbau zur Kontrolle des Wascharmes mit einem elektrischen Schrittmotor

### Vorgehen

Geeignete Antriebs- und Kontrollsysteme wurden nach Recherchearbeit und einem Brainstorming in einem System aus morphologischen Kästen zusammengefasst. Durch Diskussionen mit Spezialisten der Belimed Life Science und einer Nutzwertanalyse konnte die Anzahl möglicher Konzeptlösungen verringert werden. Um Chancen und Probleme

der restlichen Systeme besser evaluieren zu können, wurden praktische Vorversuche durchgeführt. Jener mit einem elektrischen Schrittmotor ist in Abb. 1 zu sehen. Auf Basis der Versuchsergebnisse und der Nutzwertanalyse wurde schliesslich das beste System ausgewählt und ausgearbeitet.



**Abb. 2:** Modell des Antriebes durch ein Wasserrad inklusive Getriebeübersetzung

### Ergebnis

Für den Antrieb des Reinigungsarmes wurde ein System entwickelt, das auf einem Wasserantrieb basiert. Der Antrieb mit Wasser hat den grossen Vorteil, dass in der Anlage bereits Wasser für die Reinigung zur Verfügung steht und die Komponenten Temperatur- und Reinigungsmittelbeständig sind. Ein Modell des Antriebes zeigt Abb. 2. Dabei wird ein Wasserrad mit Peltonschaufeln durch zwei Wasserstrahlen pro Drehrichtung angetrieben. Die Antriebsdrehzahl des Wasserrades wird mit Hilfe einer Getriebeübersetzung unteretzt um das Antriebsmoment zu optimieren. Für dieses Antriebssystem wurde bereits ein Antrag auf ein Patent gestellt.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Daniel Glur  
Prof. Ralf Baumann  
SMS Concast AG  
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Simulation des Walz-/Haltevorganges in einer Strangiessanlage

### Ausgangslage

In einer Bogengiessanlage mit einem Giessradius von 12 m werden Knüppel mit den Abmessungen von 255 x 300 mm bei einer Giessgeschwindigkeit von 0.85 m/min. im Strangiessverfahren hergestellt. Dabei wirken beim Ausziehen oder Abbremsen des Stranges durch den Richttreiber grosse Kräfte und Momente. Zur Qualitätsverbesserung des Erzeugnisses wird der Strang im warmen Zustand im Bereich der Richttreiber gewalzt. Die wirkenden Kräfte auf den Strang können zu Rissbildungen und Verformungen des Querschnittes führen, was wiederum zu einem Qualitätsverlust führt. Das Ziel der Bachelor-Thesis ist es, die wirkenden Kräfte und Momente während des Walzvorganges im Bereich der Richttreiber mit Hilfe einer FEM-Simulation zu ermitteln. Des Weiteren soll ein mechanisches Modell für den gesamten Strang entwickelt werden. Dies dient der Ermittlung von Schnittkräften wie z.B. Biegespannungen und Normalkräfte im Strang.

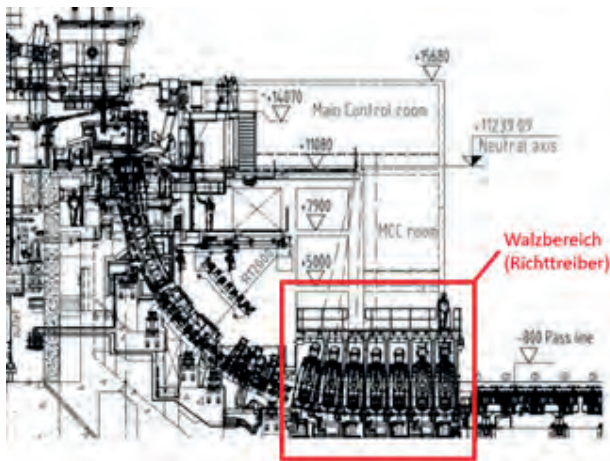


Abb. 1: Ausschnitt der Anlagenzeichnung mit markiertem Walzbereich

### Vorgehen

Zur Simulation des Walzprozesses wird ein nichtlineares, statisch-mechanisches FEM-Modell erstellt. Die technischen Schwerpunkte liegen in der richtigen Definition der Werkstoffeigenschaften bei Temperaturen zwischen 700 bis 1300 °C, in der Vereinfachung des Modelles, dem Aufbringen der Last und dem Implementieren des richtigen Temperaturprofils über den betrachteten Querschnitt. Das Modell wird durch die Ausnützung der Symmetrie als Viertelmodell modelliert. Das Aufbringen der Last erfolgt in zwei Lastschritten. In einem ersten Lastschritt wird das Temperaturprofil mittels «Externe Daten» in ANSYS Workbench und

das vertikale Einpressen der Walze in den Strang eingeleitet. In einem zweiten Lastschritt erfolgt die Rotation und somit der eigentliche Walzvorgang.

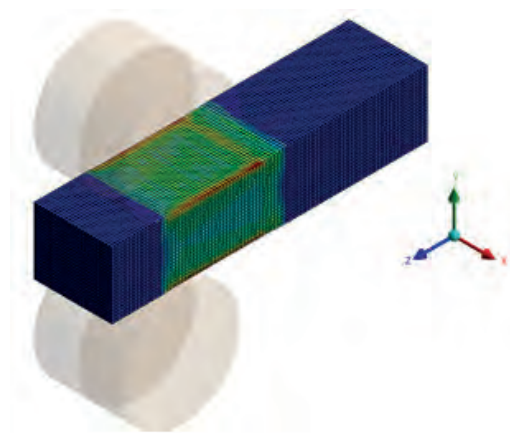


Abb. 2: Plastische Vergleichsdehnung im gewalzten Bereich. Die Abbildung zeigt das Modell ohne Symmetrie

### Ergebnis

Die Ergebnisse für den Walzprozess sind in Abb. 3 dargestellt. Das Zeitintervall von 0 s bis 1 s beschreibt den ersten Lastschritt und das Zeitintervall zwischen 1 s bis 2 s den zweiten Lastschritt. Die technisch relevante vertikale Kraft ist die Kraft in Y-Richtung. Die Kraftreaktion beträgt unter Berücksichtigung der Symmetrierandbedingungen 988 kN, was 5.9 % kleiner ist als eine Messung an der realen Anlage. Das ermittelte Drehmoment von 48.4 kNm ist um ca. 7.3 % kleiner als das gemessene Antriebsmoment.

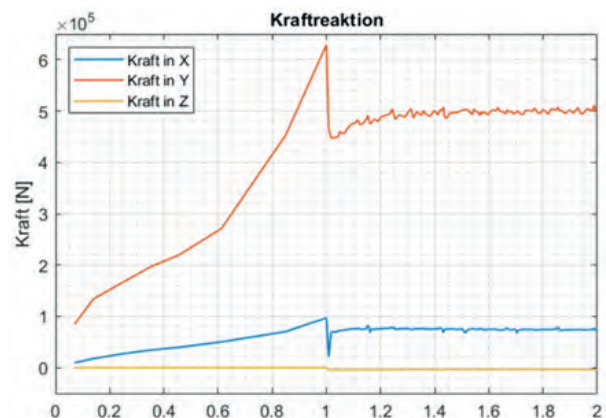


Abb. 3: Kraftreaktionen in alle drei Raumrichtungen



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Jonas Grand  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Teqtoniq GmbH  
Dr. Andreas Lehr  
Energien, Fluide und Prozesse

## Dynamische Simulation einer Kälteanlage mit Turboverdichter

### Ausgangslage

Der Kühlbedarf für Gebäude nimmt laufend zu und entsprechend steigt der Stromverbrauch für Klimakälteanwendungen. Durch den wachsenden Bedarf an Klimakälteanlagen für grössere Gebäude wie z.B. Bürogebäude, Spitäler oder Hotels und die geforderten Zielen zur Senkung des Energieverbrauchs steigt das Interesse an hoch-effizienten Klimakälteanlagen.

Für diesen wachsenden Markt entwickelt die Teqtoniq GmbH neuartige gasgelagerte Turbokältemittelverdichter. Mit Turboverdichtern können hohe Wirkungsgrade bei kleinen Druckverhältnissen im Voll- und Teillastbetrieb und dadurch eine hohe Effizienz über das gesamte Jahr erreicht werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Evaluation der Simulationsumgebungen Matlab/Simulink und Modelica/Dymola für die dynamische Simulation von Kälteanlagen mit Turboverdichtern.

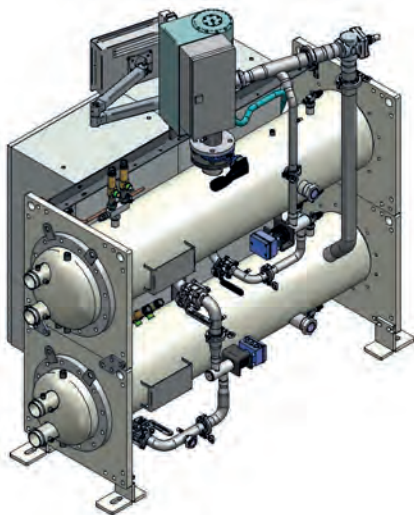


Abb. 1: CAD-Zeichnung der modellierten Klimakälteanlage mit dem Turboverdichter der Teqtoniq GmbH

### Vorgehen

Die Klimakälteanlage mit dem Turboverdichter der Teqtoniq GmbH (Abb. 1) wird in beiden Simulationsumgebungen simuliert und anschliessend mit Labormessungen für stationäre und transiente Betriebsbedingungen validiert. Zusätzlich werden die Simulationsumgebungen anhand qualitativer Kriterien wie mögliche Anwendungsbereiche, Benutzerfreundlichkeit usw. verglichen.

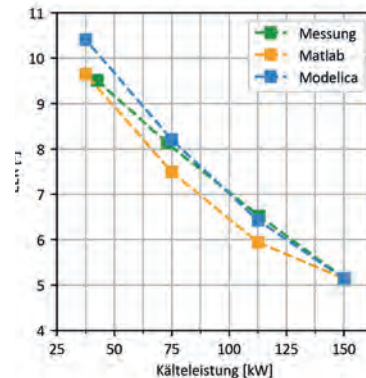


Abb. 2: Vergleich der simulierten und gemessenen EER-Werte (EER = Energy Efficiency Ratio, Verhältnis von Kälteleistung und elektrischer Leistung des Verdichters)

### Ergebnis

Mit beiden Modellen können ähnliche Genauigkeiten erzielt werden. Die max. Abweichung des EER-Wertes ist kleiner als 10 % (Abb. 2). Es wurde festgestellt, dass die Genauigkeit massgeblich durch die getroffenen Eingaben beeinflusst wird. Somit können die Modelle durch verfeinerte Eingaben weiter optimiert werden. Das dynamische Verhalten der Kälteanlage kann durch beide Modelle gut abgebildet werden (Abb. 3).

Für den qualitativen Vergleich wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt. In dieser schneidet Modelica/ Dymola im Vergleich zu Matlab/Simulink besser ab, hauptsächlich aufgrund der einfacheren Handhabung. Auf Basis der Ergebnisse wurden Optimierungsmöglichkeiten für beide Modelle entwickelt und ein mögliches weiteres Vorgehen für die nächsten Entwicklungsschritte erarbeitet.

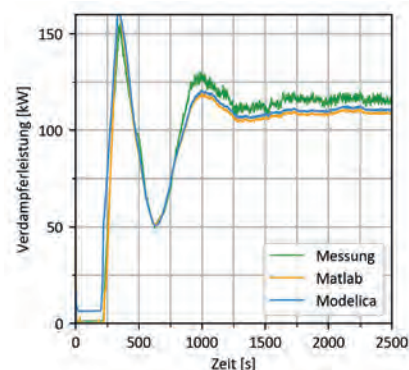
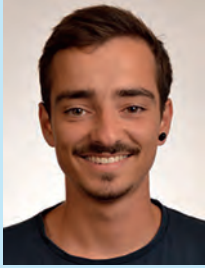


Abb. 3: Vergleich der simulierten und gemessenen Verdampferleistung während des Hochfahrens



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Andre Gut  
Prof. Dejan Romančuk  
Louis Palmer - Zero Race GmbH  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Solar Butterfly – Auslegung der Grundstruktur

### Ausgangslage

Ziel des Projektes Solar Butterfly ist die Entwicklung eines autarken Wohnwagens, welcher sich mit selbst erzeugtem Solarstrom versorgt und autonom operieren kann. Der Solar Butterfly soll international Aufmerksamkeit erregen und so nachhaltige Lösungen im Bereich des Klimaschutzes und Elektromobilität ermutigen und vorantreiben. In Zusammenarbeit mit drei weiteren Maschinentechnikstudenten und deren Bachelor-Thesen soll die Vision des Solar Butterflys in die Realität umgesetzt werden.



Abb. 1: Konzeptionelles Rendering des Solar Butterflys

### Vorgehen

Diese Bachelor-Thesis befasst sich mit dem Definieren der Anforderungen und Auslegungskriterien des Solar Butterflys, dem Bestimmen von Design-Allowables, der Ausarbeitung eines Lastenheftes und der Grobauslegung der Grundstruktur. Zur Bestimmung von Schnittgrößen soll dabei ein globales FEM-Modell zur Anwendung kommen.

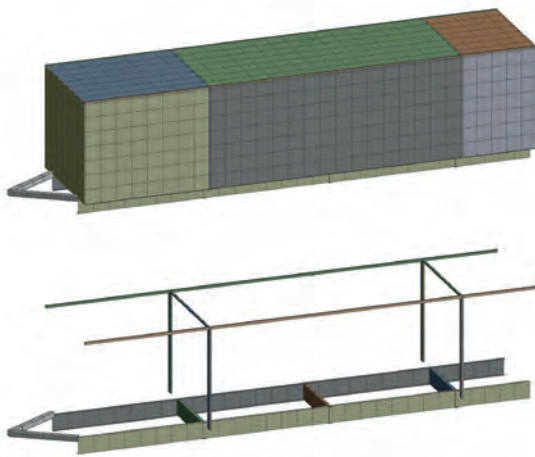


Abb. 2: Globales FEM-Modell

### Ergebnis

Handrechnungen und FEM-Berechnungen zeigen, dass von den untersuchten Belastungen die Lastfälle der vertikalen und rotatorischen Beschleunigung, welche während der Fahrt auftreten, die grössten Beanspruchungen darstellen. Zugleich weisen diese Lastfälle aufgrund von nur bedingt abschätzbaren Randbedingungen die grössten Unsicherheiten auf. Weiter konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die Klebeverbindung zwischen dem Boden und Chassis als kritisch zu beurteilen ist und dass weitere Untersuchungen und Abklärungen diesbezüglich notwendig sind. Ferner konnte Potential zur Gewichtsreduktion in Form einer Optimierung des Chassis in Verbindung mit dem Boden ausfindig gemacht werden.

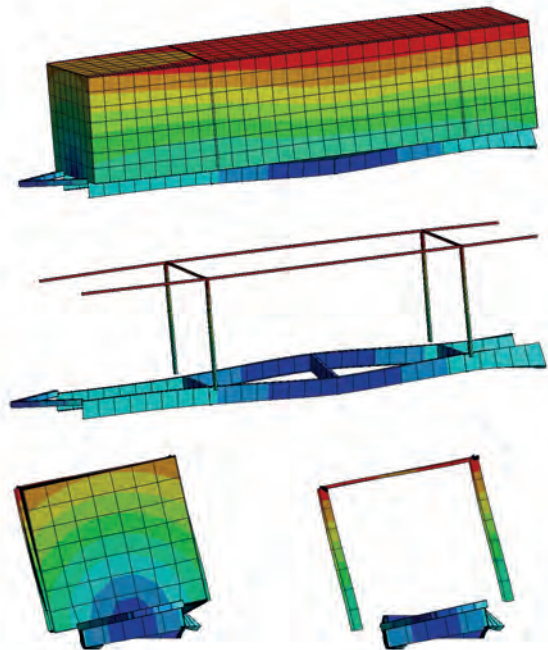
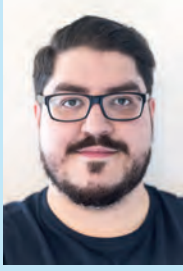


Abb. 3: Deformation des Solar Butterflys im Lastfall der rotatorischen Beschleunigung



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Ferenc Haraszi  
Prof. Dr. Mirko Kleingries  
Climeworks AG  
Dipl. Ing. ETH Florian Brunner  
Energien, Fluide und Prozesse

## MixSorb L<sup>®</sup>: Determination and evaluation of single- and multi-component sorption isotherms with breakthrough curves

### Introduction

Climeworks is a Swiss company specializing in the removal of carbon dioxide through direct air capture (DAC). Climeworks' ultimate goal is the reversal of climate change. As carbon dioxide is one of the main drivers of climate change, they focus their efforts on its removal. They achieve this removal through an adsorption-desorption process that is the core of their DAC plants.

As the location of the plants has an effect on temperatures and relative humidity in the air, the respective impact of these parameters on the performance of the sorbent materials within Climeworks' portfolio is important when considering the sorbent selection.



Fig. 1: Climeworks' CO<sub>2</sub> collector

### Procedure

The goals of this project were achieved by first conducting a series of breakthrough experiments performed on the MixSorb L sorption analyser by 3P instruments. The measurements were carried out at different temperatures ranging from 5°C to 35°C, at different levels of relative humidity ranging from 0% to 90% and varying levels of CO<sub>2</sub> concentrations ranging from 60ppm to 600ppm in order to assess the adsorption capacities within these ranges. This data was then analysed and integrated in the MixSorb Manager Software to calculate adsorption isotherms.

The isotherm data of all viable runs was then used to determine and fit a representative adsorption isotherm model that was used to discuss the adsorbent material properties

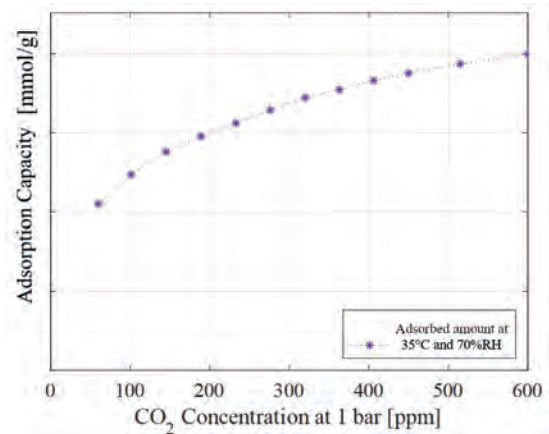


Fig. 2: Isotherm curve: CO<sub>2</sub> Adsorption capacity as a function of CO<sub>2</sub> inlet concentration. Resulting values are not shown due to confidentiality

### Results

A realistic interactive Langmuir-BET adsorption model was developed and proved to be a suitable fit. The model matched the measurements with a mean relative absolute error of under 10%. The used cases of this project revealed some limitations of the MixSorb L, the CO<sub>2</sub> adsorption properties have been successfully investigated within the temperature, humidity, and CO<sub>2</sub> concentration ranges defined.

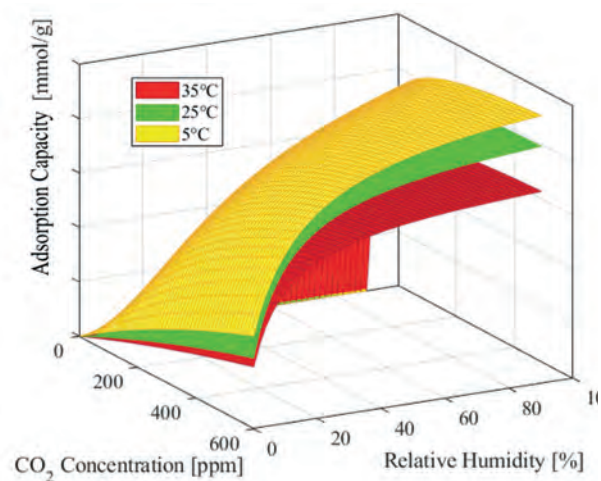


Fig. 3: Modelled results. CO<sub>2</sub> Adsorption capacities are not shown due to confidentiality



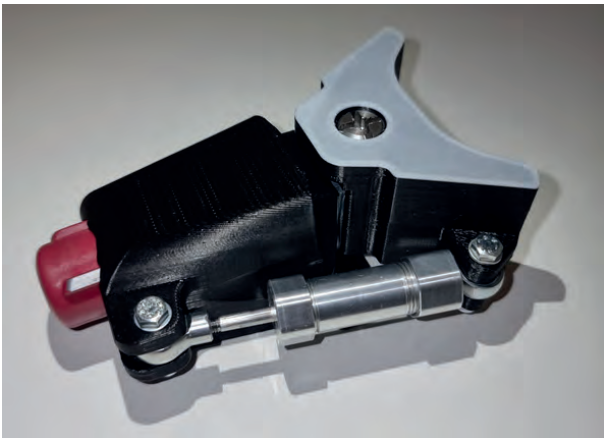
**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Matthias Herger  
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter  
Hansruedi Nöpflin  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Skibindung mit Stossdämpfer

### Ausgangslage

An der Hochschule Luzern wurden in vorgängigen Arbeiten Skibindungen mit Vorauslösungen entwickelt. Die Vorauslösung soll das Risiko von Knieverletzungen minimieren. Diese Konzepte basieren auf mechanischen Lösungen. Mit dieser Arbeit soll überprüft werden, ob mit einem Stossdämpfer im Bereich der Vorderbacke eine Skibindung mit ähnlichem Verhalten erreicht werden kann. Durch den Stossdämpfer soll die Skibindung bei schnellen Belastungen (Stösse im Bereich von Millisekunden) nicht auslösen. Bei länger andauernden Belastungen (Verschiebungszeit  $> 50$  Millisekunden) soll sie aber auslösen.



**Abb. 1:** Erstelltes Funktionsmuster mit eingebautem Stossdämpfer

### Vorgehen

Das Verhalten von Stossdämpfern bei Stössen wurde analysiert. Durch eine mathematische Modellierung wurden die Abmasse und insbesondere der Durchmesser für eine Drosselbohrung eines Öldämpfers ausgelegt. Somit ist das Dämpfungsverhalten des Stossdämpfers definiert. Ein Funktionsmuster eines Stossdämpfers wurde im CAD gezeichnet und anschliessend hergestellt (Abb. 1). Die Befestigung des Stossdämpfers erfolgte in einer aus PLA (Polymer) hergestellten Vorderbacke. Anschliessend wurde der bereits bestehende Prüfstand mit einem Pendelhammer ausgestattet, um Stösse auf die Skibindung ausüben zu können (Abb. 2). Mithilfe eines Beschleunigungssensors sowie eines Drehmomentsensors wurden das Auslöseverhalten untersucht.



**Abb. 2:** Laborprüfstand mit Pendelhammer zur Erzeugung von Stössen

### Ergebnis

Anhand der Messergebnisse kann der exakte Einfluss des Stossdämpfers auf die Auslösung nicht genau genug bestimmt werden. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, muss das Messverfahren und das Prüfstandsetting optimiert werden. Grundsätzlich hat die ganze Einspannung und auch der Skischuh einen grossen Einfluss auf das Systemverhalten. Wichtig ist auch, dass Lastprofile (welche Belastungen beim Skifahren auf die Skibindungen resultieren) ermittelt werden. Diese Daten werden benötigt, um die Zeitverzögerung (ms, 10 ms oder 100 ms-Bereich) neu auszulegen. Durch optische Auswertung der Messversuche kann ein Einfluss des Stossdämpfers auf das Auslöseverhalten bestätigt werden und somit ist das Funktionsprinzip nachgewiesen.





**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

**Rémy Hess**  
**Prof. Dr. Rolf Kamps**  
**Hinni AG**  
**Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Konzeption und Entwurf einer neuen Mechanik für Wasserhydranten

### Ausgangslage

Die Firma Hinni AG mit Sitz in Biel-Benken entwickelt, produziert und vertreibt hochwertige Hydranten. In den Wasserhydranten der Firma Hinni AG wird das Hauptventil über einen Spindeltrieb geöffnet und geschlossen (Abb. 1). Die hohen Druckkräfte, welche auf das Hubventil wirken, werden dabei auf den Spindeltrieb übertragen. Nach mehreren Jahrzehnten im Einsatz wird das Schmiermittel ausgeschwemmt, wodurch Bauteile oxidieren oder bewegliche Teile verkalken können und das Bedienmoment dadurch stark ansteigt. Aufgrund der Bauart kann es sogar vorkommen, dass das Bedienmoment derart ansteigt, dass die Hydrantenmechanik zu Schaden kommt. Wasserhydranten, wie sie in der heutigen Form verbaut sind, wurden bereits im Jahr 1869 vom New Yorker Birdsill Holly erfunden. Das Funktionsprinzip ist seitdem unverändert geblieben. 150 Jahre nach der Patentveröffentlichung stellt sich für die Firma Hinni AG die Frage: «Kann ein neues Hydrantenkonzept die bisherigen Hydranten ersetzen?» Das Ziel der vorliegenden Bachelor-Thesis war es, ein Gesamtkonzept eines neuen Hydrantenunterteils zu entwickeln und zu realisieren, welches das Bedienmoment gegenüber der bisherigen Hydrantenmechanik deutlich senkt.



Abb. 1: Hydranten-Unterteil mit Doppelabsperung



Abb. 2: 3D-Druck der neuen Hydrantenmechanik

### Vorgehen

Um ein neues Hydrantenkonzept zu entwickeln, wurde zu Beginn die Gesamtfunktion des Hydranten in Teilfunktionen zerlegt und in einer Funktionsstruktur dargestellt. Anschliessend wurden zu den Teilfunktionen Lösungsprinzipien gesucht. Dazu wurden gängige Ventiltypen analysiert, bestehende Lösungen systematisiert und durch analoge Lösungsprinzipien aus anderen Bereichen ergänzt. Diese Teillösungen wurden dann in einer Gesamtkombinationsmatrix systematisiert und bewertet. Anhand der morphologischen Analyse wurden drei Gesamtlösungsvorschläge erarbeitet. Aus diesen sind verschiedene Variantenentwicklungen entstanden und zu einem Gesamtkonzept entwickelt worden. Abschliessend wurde das Gesamtkonzept mittels CAD konstruiert und als 3D-Druck realisiert (Abb. 2).

### Ergebnis

Anhand systematischer Arbeiten ist ein Hydrantenkonzept entstanden, welches das Bedienmoment gegenüber dem bisherigen Hydranten deutlich senkt. Die Berechnungen zeigen, dass das Bedienmoment um den Faktor 10 verkleinert werden kann.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

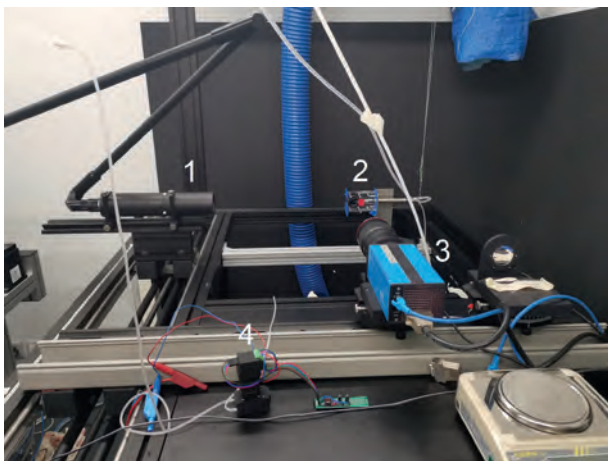
**Aaron Höfliger  
Prof. Dr. Ernesto Casartelli  
Oertli Instrumente AG  
Dr. Joel Schlienger  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Particle Image Velocimetry Messungen an einem Modell der Katarakt-Operation

### Ausgangslage

Erkrankt ein Mensch an Katarakt (Grauer Star) so muss die körpereigene Linse durch eine Kunstlinse ersetzt werden. Die Firma Oertli Instrumente AG entwickelt Produkte für die Augenchirurgie. Eine Sparte beinhaltet Instrumente für die sogenannte Phakoemulsifikation, ein Verfahren der Katarakt-Operation. Bei diesem Eingriff wird die trübe Linse eines Patienten mit Ultraschall verflüssigt und aus der Linsenkapsel abgesogen. Um den Augendruck konstant zu halten, fließt während dem Absaugvorgang eine Salzlösung in das Augeninnere nach. Dadurch kommt es zu einer komplexen Strömung im Auge, welche durch Particle Image Velocimetry (PIV) untersucht werden soll. Die Ergebnisse dieser Messungen sollen mit der am Computer simulierten Strömung verglichen werden.

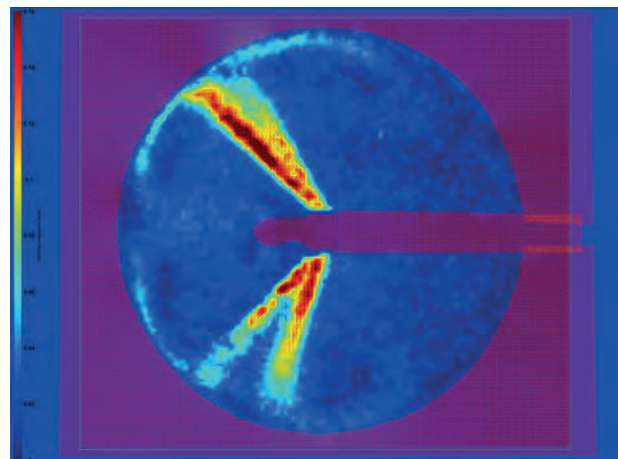
Die PIV ist ein optisches Messverfahren. Bei einer Messung wird mittels eines Lasers eine Ebene in einem Fluid und die darin enthaltenen Partikel beleuchtet. Von dieser Ebene werden in definierten Zeitabständen Bilder erstellt, welche die Verschiebung der Partikel dokumentieren. Durch die bekannte Zeitdifferenz und die zurückgelegte Strecke der Partikel kann eine Software die Geschwindigkeiten der Strömung berechnen.



**Abb. 1:** Versuchsaufbau mit Laser (1), Testobjekt (2), Kamera (3) und Peristaltikpumpe (4)

### Vorgehen

Damit Messungen durchgeführt werden können, muss der bestehende Versuchsaufbau optimiert werden. Dafür wird ein Testobjekt und einen Kreislauf für das Fluid entworfen. Um gewährleisten zu können, dass der Volumenstrom für die Messung konstant bleibt, wird ein höhenverstellbares Reservoir mit Überlauf erstellt. Eine Peristaltikpumpe befördert das Fluid in das Reservoir. Mit dem neuen Versuchsaufbau werden nun drei verschiedenen Titanspitzen und die dazugehörigen Irrigationsaufsätze aus Silikon mit verschiedenen Volumenströmen vermessen.



**Abb. 2:** Geschwindigkeitsverteilung der Strömung

### Ergebnis

Die verschiedenen Messungen zeigen, dass sich beim Eintritt des Fluids in die Kammer zwei Strahlen pro Seite ausbilden (Abb. 2). Die Winkel der Strömungen zur Achse verhalten sich nicht symmetrisch und sind bei 95 % der Messungen kleiner als die Winkel aus der Simulation. Nach einer genaueren Untersuchung der Irrigationsaufsätze ist anzunehmen, dass die Fertigungsunterschiede einen Einfluss auf die Winkel der Strömung haben.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Marius Huber  
Dr. Adrian Koller  
Micos Engineering GmbH  
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Automatisierung und Optimierung eines Beschichtungsprozesses für Raumfahrtstrukturen

### Ausgangslage

In der Raumfahrt kommen diverse optische Messgeräte zum Einsatz. Um mit diesen Geräten genaue und zuverlässige Daten zu generieren, werden Referenzkörper für die optische Kalibrierung eingesetzt. Diese Kalibrierung wird in Intervallen im Orbit durchgeführt.

Die optischen Referenzkörper werden mit besonderen Farben beschichtet, welche spezielle optische und physikalische Eigenschaften aufweisen müssen. Diese Eigenschaften der Farben sind je nach Space-Mission und deren Anforderungsliste unterschiedlich. Der Beschichtungsprozess wird bis anhin von Hand mit einer Lackierpistole durchgeführt. Dies macht den Prozess schwer reproduzierbar und kann zu unerwünschten optischen Eigenschaften der Beschichtung führen. Das Ziel ist es, einen automatisierten Prozess zu entwickeln um auch komplexe Geometrien mit geometrischer Konstanz zu beschichten.



Abb. 1: Eingesetzter Knickarmroboter

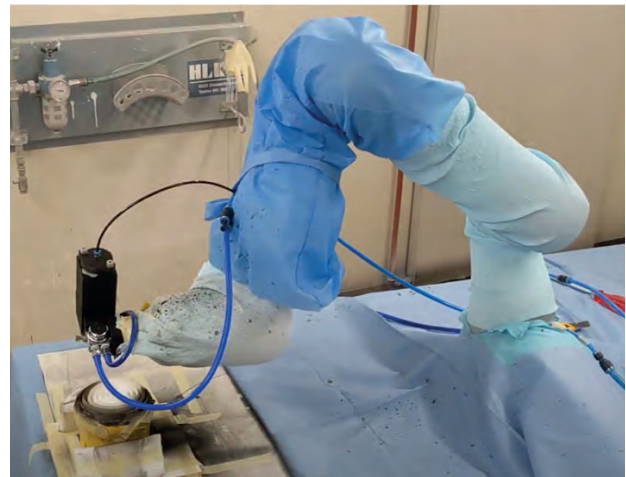


Abb. 2: Versuchsaufbau für automatisierten Beschichtungsprozess mit Industrieroboter

### Vorgehen

Für den ausgewählten Prozess wurde ein Versuchsaufbau erstellt. Es wurde eine Lackierpistole in Kombination mit einem Industrieroboter verwendet. Mit dem Knickarmroboter wurden diverse Bewegungsmuster und Sprühparameter erprobt und optimiert. Für die Beschichtungsversuche wurden Nachbildungen der optischen Referenzkörper verwendet, welche 3D gedruckt wurden. Die beschichteten Teile wurden danach geschnitten, um den Querschnitt untersuchen zu können. Für das Messen der geometrischen Verteilung der Beschichtung wurden die Teile in Epoxid eingebettet und geschliffen. Dies ermöglichte es, den Lackauftrag zu messen und die Gleichmässigkeit der Verteilung zu bewerten.

### Ergebnis

Der erstellte Testaufbau ermöglichte das Beschichten mehrerer Proben. Die Geometrie der Referenzkörper bedingte einer Kreisbewegung mit adaptiver Winkelanpassung relativ zur Oberflächengeometrie. Der Lackaufbau wurde zur Analyse unter einem Mikroskop untersucht und vermessen. Nach einigen Optimierungen konnten die gewünschten Anforderungen erfüllt werden.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

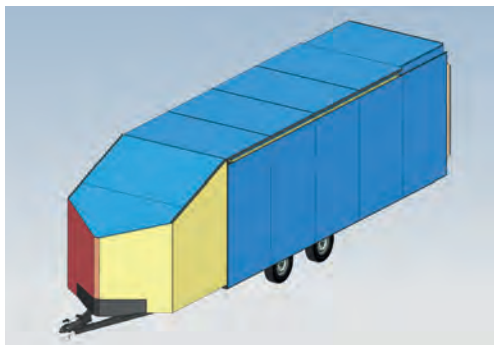
**Michael Huber  
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer  
Louis Palmer  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Solar Butterfly – Konstruktion der Grundstruktur

### Ausgangslage

Erneuerbare Energie wird immer wichtiger und ist kaum mehr aus unserem Alltag wegzudenken. Für das Ziel Netto-Null Emissionen bis im Jahre 2050 sollten Lösungen oder zumindest Lösungsvorschläge wie der Solar Butterfly präsentiert werden.

Für das Projekt Solar Butterfly, welches vom Umweltaktivist Louis Palmer lanciert wurde, wird ein schmetterlingähnlicher PKW-Anhänger gefordert. Der Anhänger soll beidseitig Raumelemente und Flügel ausfahren können, um die Oberfläche möglichst gross zu gestalten, damit Energie mittels Photovoltaik erzeugt werden kann. Mit dieser Energie wird einerseits das Zugfahrzeug gespiesen, andererseits soll die Energie zum Wohnen dienen. Das bedeutet auch, dass der Solar Butterfly mit Nasszelle und Küche ausgestattet werden soll. Dieser Schmetterling wird sich 2023 auf eine Weltreise durch 80 verschiedene Länder begeben. Im Jahr 2025 ist das Ziel, beim zehnjährigen Geburtstag der Pariser Klimakonferenz vorzufahren, um anschliessend das Projekt abzuschliessen. Während dieser Reise sollen Motivationsreden auf der eingebauten Bühne des Solar Butterflys Leute dazu animieren, saubere sowie erneuerbare Technologien zu verwenden, bei Umweltprojekten teilzunehmen und vor allem selbst ein solarbetriebenes Tiny-House zu bewohnen.

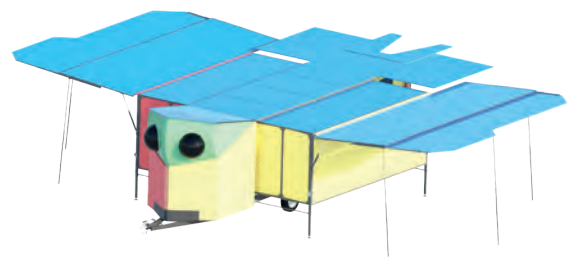


**Abb. 1:** Solar Butterfly im eingefahrenen Zustand (Fahrmodus)

### Vorgehen

Zu Beginn wurde das Kundenlastenheft in ein Pflichtenheft umgewandelt. Danach wurden alle möglichen Risiken bewertet. Diese flossen später in die Kriteriengewichtung der Nutzwertanalyse ein. Technologierecherchen über Verbindungstechniken, Profile und andere Verbindungskomponenten wurden zusammen mit dem Projektteam durchgeführt. Die Nutzwertanalyse ist die Bewertung aller möglichen Teillösungen aus der Technologierecherche, wovon die besten in der Konzeptfindung weiterverfolgt wurden. Für die Absegnung und Machbarkeitskontrolle der

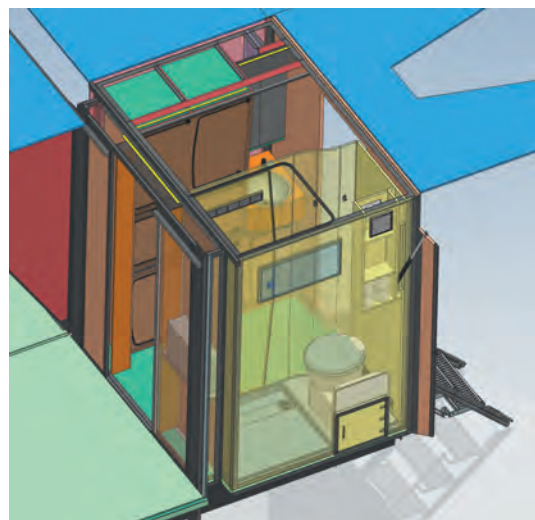
finalen Konzeptlösungen wurden Fachexperten herangezogen. Zum Schluss wurden alle Teilprojekte in ein globales CAD-Modell zusammengeführt.



**Abb. 2:** Solar Butterfly im ausgefahrenen Zustand (Lademodus)

### Ergebnis

Schlussendlich konnten Sandwichstrukturen, Profile, Gelenke und Antriebe für den Solar Butterfly ausgelegt und ausgewählt werden. Ein Konzept für die Grobdimensionierung und der Funktionsprinzipien wurde ausgearbeitet. Im ausgefahrenen Zustand produzieren 97 m<sup>2</sup> Solarzellen bis zu rund 150 kWh pro Tag. Des Weiteren konnte die Verfügbarkeit der Herstellungsmethode sowie der Bauressourcen sichergestellt werden. Aus dem globalen CAD-Modell wurden Baugruppenzeichnungen abgeleitet für den späteren Zusammenbau. Abschliessend wurden Empfehlungen für die nötige Gewichtsreduzierung sowie für das weitere Vorgehen abgegeben. So kann zu gegebener Zeit mit dem Zusammenbau des Solar Butterfly gestartet werden.



**Abb. 3:** Ausschnitt vom Solar Butterfly der Nasszelle



**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

**Dominik Imfeld**  
**Prof. Pius Portmann**  
**maxon motor ag**  
**Dr. Rudolf Morach**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Entwicklung einer Kollektorwaschanlage für maxon DC Motoren

### Ausgangslage

Die Firma maxon ist der führende Anbieter von hochpräzisen Antriebssystemen. Zu diesen Antriebssystemen gehören unter anderem bürstenbehaftete Gleichstrommotoren. In der Rotorfertigung dieser Motoren werden die Kupferkollektoren (Abb. 1) nach der Montage auf Mass überdreht, um die geforderte Rundlauf toleranz von  $\leq 0.02$  mm sowie eine Oberflächenrauheit zwischen Ra  $0.4 \mu\text{m}$  und Ra  $0.1 \mu\text{m}$  einzuhalten. Dabei fallen Späne an, welche mittels eingekauften Hochdruckreinigungsanlagen vom Kollektor entfernt werden. Die bestehenden acht Reinigungsanlagen verursachen hohe Wartungskosten und sind nicht mehr auf dem Stand der Technik.

Ziel dieser Bachelor-Thesis ist die Entwicklung einer neuen Kollektorwaschanlage, welche die bestehenden acht Anlagen ersetzt.

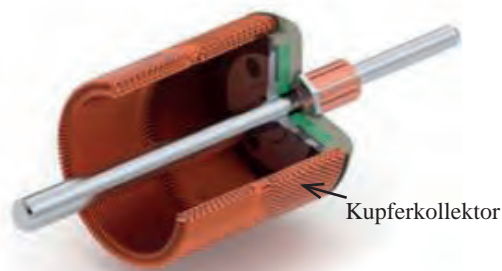


Abb. 1: Rotor eines maxon DC Motors

### Vorgehen

Mittels einer umfassenden Analyse des bestehenden Reinigungsprozesses wurden die Funktionen und die Schwachpunkte der bestehenden Anlage erfasst. Für die Teilfunktionen Hydraulik zum Druckaufbau, Handling der Kollektoren mit unterer und oberer Aufnahme, Positionierung der Reinigungsdüsen und Integration der ganzen Anlage wurden Lösungsvarianten erstellt und bewertet. Für die Druckerzeugung wurde ein komplett neuer Ansatz gewählt – anstelle des bisherigen Öl-Hydraulikaggregats wurde eine Plungerpumpe evaluiert. Um Know-how und Erfahrung mit Hochdruckanlagen zu sammeln, wurde die ausgewählte Pumpe auf einer Testanlage (Abb. 2) während 200 Stunden geprüft. Aufgrund der Testergebnisse wurden die Teillösungen zum Gesamtkonzept für die Kollektorwaschanlage KWA-22 zusammgeführt.



Abb. 2: Testanlage KWA-22

### Ergebnis

Das Konzept der KWA-22 (Abb. 3) besteht aus einem Maschinengestell (Unterbau), der Grundplatte und dem Aufbau. Im Maschinengestell befinden sich die gesamte Hydraulik und im hinteren Teil der Schaltschrank. In der Grundplatte sind die Lagerung und der Antrieb der unteren Aufnahme für die Rotordurchmesser von 5.02 bis 55.8 mm integriert. Die Reinigungskammer mit dem Düsensystem ist auf der Unterseite befestigt. Auf der Grundplatte befinden sich die Bedienungseinheit und der Aufbau, welcher den Hubmechanismus und den Antrieb der oberen Aufnahme beinhaltet. Den Abschluss bilden eine Abdeckung aus Blech und eine transparente, automatische Schutzhaube.



Abb. 3: Konzept KWA-22



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Simon In-Albon  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Institut IME, CC TEVT  
Dipl. Ing. FH Lukas Gasser  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Wärmepumpen im Feldbetrieb: Effizienz und Optimierungspotential

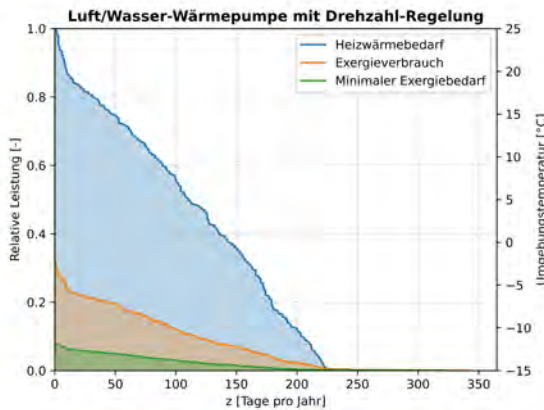
### Ausgangslage

Die Klimaerwärmung stellt die wohl grösste Herausforderung des 21. Jahrhunderts dar. Zur Bewältigung dieser Herausforderung werden hocheffiziente und emissionsfreie Technologien benötigt. Die Wärmepumpe stellt eine dieser wegweisenden Technologien dar. Die Hochschule Luzern forscht an der Effizienzsteigerung von Wärmepumpen mittels digitaler Betriebsanalyse. Diese Bachelorthesis gliedert sich in diese Forschungstätigkeit ein. Das Ziel der Arbeit ist, anhand von Messdaten einer Feldstudie verschiedene Analysemethoden für die Wärmepumpe zu entwickeln und auf ihre Umsetzbarkeit im Feldbetrieb zu bewerten.

Um die Analysemethoden auf ihre Effektivität zu überprüfen, wurde für sechs Wärmepumpen-Anlagen eine detaillierte Datenanalysen durchgeführt. Diese beinhalten u.a. die erzeugte und erforderliche Heizleistung, die Heizwassertemperaturen, die Betriebsdauer und verschiedene Kennzahlen zu Beurteilung der Energieeffizienz.

### Ergebnis

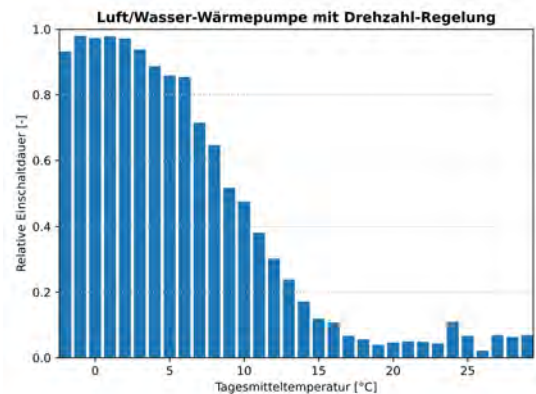
Die Jahresdauerlinien (Abb. 1) erweisen sich als eine gute Basis für die Effizienzanalyse. Als besonders aussagekräftige Effizienzanalyse stellte sich eine Kombination aus Betriebsdaueranalyse (Abb. 3) und Heizleistungsanalyse heraus. Die Analyse von stationären Betriebspunkten (Abb. 2) zeigt Potenzial als Analysemethode auf, ist jedoch an den Umstand gebunden, dass hierzu die Wärmepumpe genügend häufig in einem stationären Betrieb arbeiten muss. Mangelhaft eingestellte Wärmepumpen neigen aber zu häufigem Taktbetrieb, was in einer kurzen, stationären Betriebsdauer resultiert und somit ungenügend mit der stationären Betriebsanalyse untersucht werden kann. In einem nächsten Schritt wird empfohlen, das Taktverhalten der Wärmepumpen vertieft zu untersuchen.



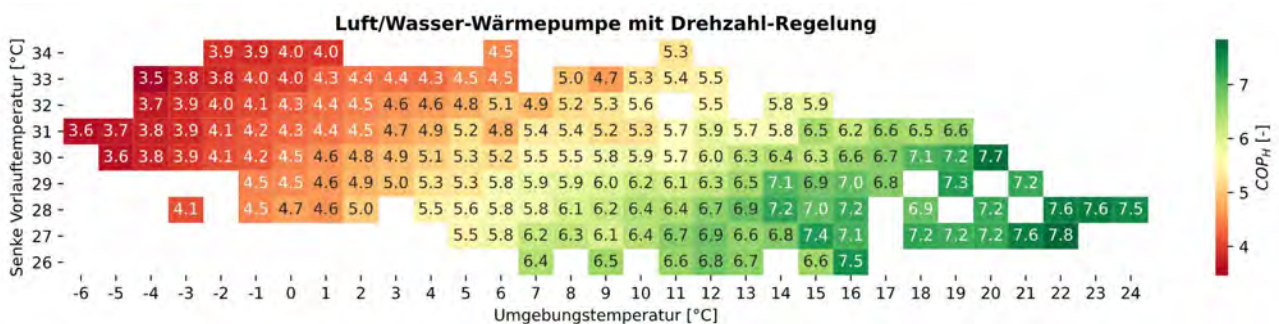
**Abb. 1:** Jahresdauerlinien von Heizleistungs- und Exergiebedarf relativ zur maximalen Heizleistung für ein Minergie-Gebäude aus der Feldmessung

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde ein Programm entwickelt, welches die Messdaten aus der Feldstudie auf Messfehler kontrolliert, Betriebszyklen erkennt und verschiedene Kennzahlen der Wärmepumpe berechnet. Weiter wurde ein Programm erarbeitet, welches die bereinigten und berechneten Daten analysiert und die Ergebnisse grafisch darstellt.



**Abb. 3:** Relative Einschaltdauer der Wärmepumpe (Betriebsstunden des Kompressors pro 24h), ohne Einbezug des Kühlbetriebs



**Abb. 2:** Leistungszahl COP aus stationären Betriebspunkten, in Abhängigkeit der Heizwasser- und Umgebungstemperatur



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Mirco Koch  
Prof. Ralf Baumann  
Micos Engineering GmbH  
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher  
Produktentwicklung & Mechatronik

## FEM Analysen am FLORIS Teleskop

### Ausgangslage

Micos Engineering GmbH entwickelt optische Instrumente und ist zuständig für das FLORIS Teleskop der FLEX Weltraummission der ESA. Die FLEX Mission hat die Aufgabe, die fotosynthetische Aktivität der Erde zu quantifizieren. Micos hat für dieses Teleskop einen Proof of Concept (POC) zur Demonstration der technischen Machbarkeit der Linsenmontage vorzulegen. Für eine Baugruppe, welche die Glaslinse (1), die Zentrierringe und die Zylinderhalterung (3) umfasst, wurden Analysen mit der Methode der Finite Elemente (FEM) durchgeführt.

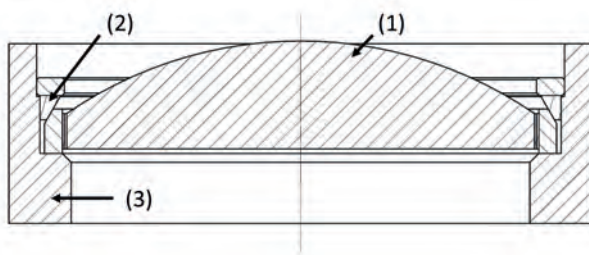


Abb. 1: Querschnitt der Baugruppe

### Vorgehen

Auf Basis von Labordaten wurde die Deformation der Linse, welche durch das Montagekonzept entsteht, ermittelt und die erste Eigenfrequenz der Baugruppe berechnet. Ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen ist der Kleber und dessen Materialeigenschaft, welcher als Verbindungselement zwischen der Linse und dem unteren Zentrierring dient. Als Software Umgebung wurde FEMAP/ Nastran eingesetzt.

### Ergebnis

Unter den Vorgaben und getroffenen Annahmen kann gezeigt werden, wie sich die Linse aufgrund des Montagekonzepts deformiert. Diese Verformungen entsprechen nicht den Ergebnissen aus dem Labortest. Jedoch kann mit Hilfe von Parameterstudien die Plausibilität der FEM Resultate bestätigt werden, auch wenn sich die gemessenen Oberflächendeformationen der Linse nicht reproduzieren lassen.

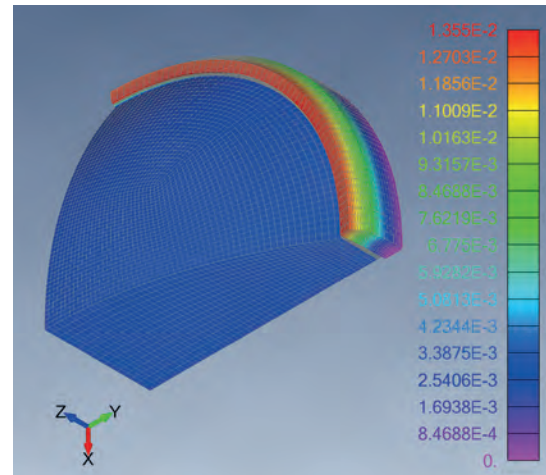


Abb. 2: Gesamte Verformung am Volumensegment

Mit Modalanalysen kann eine Korrelation zwischen dem Kleberschubmodul und der ersten Eigenfrequenz hergestellt werden. Dazu wurde der Kleberschubmodul so angepasst, dass die erste Eigenfrequenz im FE-Modell mit der Schwingungsmessung aus dem Labortest übereinstimmt. Der auf diese Weise ermittelte Schubmodul liegt um den Faktor 3 deutlich über dem Referenzwert, welcher in einem statischen Scherversuch ermittelt wurde. Die grosse Abweichung kann grösstenteils durch das nichtlineare Materialverhalten des Klebers und der Linearisierung aus den statischen Versuchsdaten erklärt werden.

Für weitergehende Untersuchungen sollten die vorliegenden Versuchsdaten überprüft werden. Insbesondere müssen die angenommenen Randbedingungen hinterfragt und gegebenenfalls im Modell angepasst werden. Des Weiteren ist zu empfehlen, im vorliegenden statischen Modell Nichtlinearitäten zu berücksichtigen und somit zu einer realitätsnäheren Lasteinleitung durch das vorliegende Montagekonzept zu gelangen.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Andreas Krummenacher  
Prof. Dr. Carsten Haack  
SBB AG  
Dr. Rudolf Morach  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Schneidmechanik und Aufhängung für autonomen Roboter

### Ausgangslage

Um einen einwandfreien Betrieb der Geleiseanlagen der SBB zu gewährleisten, muss die Vegetation im gleisnahen Bereich entfernt werden. Diese Vegetation soll in den Bereichen C, D und E entfernt werden (Abb. 1). Zurzeit wird die Vegetation durch den Einsatz des Herbizides Glyphosat entfernt. In Bereichen, in denen das Herbizid nicht angewandt werden darf, zum Beispiel in Grundwasserschutzzonen, wird die Vegetation manuell entfernt. Die Wirkung der manuellen Entfernung ist jedoch geringer und verursacht höhere Kosten. Das Herbizid Glyphosat gilt als potenziell krebserregend. Aufgrund dessen könnte dieses Herbizid in naher Zukunft verboten werden. Deshalb sucht das Unternehmen SBB nach einer alternativen Vegetationsbekämpfung durch einen autonomen Roboter.

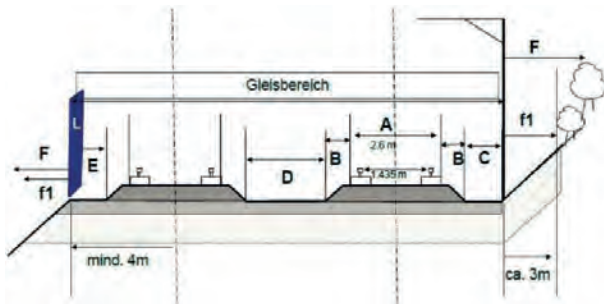


Abb. 1: Einteilung des Gleisbereiches

### Vorgehen

Anhand von bereits erstellten Arbeiten soll eine optimale Schneidmechanik evaluiert werden. Um die Schneidmechanik an den Roboter zu integrieren wurden verschiedene Lösungsvarianten einer möglichen Aufhängung erarbeitet. Durch eine Bewertung und Beurteilung konnte so die optimale Lösungsvariante ermittelt werden. Zu dieser Lösungsvariante wurde ein Modell im Massstab 1 : 2.9 erstellt, um erste Erkenntnisse für den Entwurf zu gewinnen (Abb. 2). Mit diesen Erkenntnissen konnte ein konstruktiver Entwurf erarbeitet werden. Anschliessend wurde die Aufhängung als Funktionsmuster umgesetzt, um die Anforderungen zu überprüfen.



Abb. 2: Einfaches Modell Roboter mit Schneidsystem

### Ergebnis

Das Resultat der Arbeit zeigt ein konstruktiver Entwurf des Schneidsystems, welches am Roboter integriert wurde (Abb. 3). Als Ergebnis der Schneidmechanik ging das Schneidverfahren eines Balkenmähers hervor. Dieser weist einen geringen Energieverbrauch sowie eine geringe Störanfälligkeit auf. Die Aufhängung besteht aus einem stabartigen Aufbau, welche mittels Gelenken eine Auf- und Abwärtsbewegung ermöglichen. Somit kann sich die Schneideinheit jederzeit dem Untergrund anpassen. Die Anforderungen an die Aufhängung konnten mittels dem erstellten Funktionsmuster bestätigt werden.

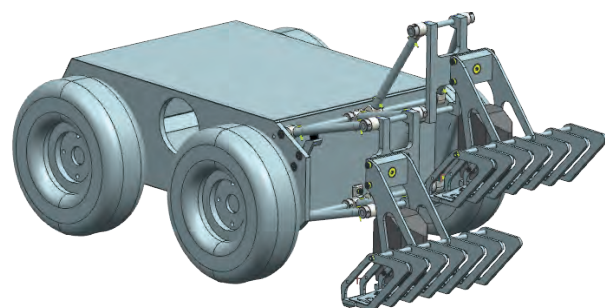


Abb. 3: CAD-Modell Roboter mit Schneidsystem





Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Pascal Kürschner  
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter  
SMS Concast AG  
Dipl. Ing. FH Roger Dubach  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Konzeptstudie für online Wäge-Systeme in Stranggiessanlagen

### Ausgangslage

Nach dem Zuschneiden werden Knüppel zu Endprofilen gewalzt, wobei das Gewicht eine überaus wichtige Rolle spielt. Überschüssiges Material wird vom Kunden nicht bezahlt und Unterschreitungen werden nicht akzeptiert. Mit Hilfe eines «Inline Weighing Device» wird das Knüppelgewicht erfasst und die Länge wird beim nächsten Knüppel angepasst (Abb. 1).

Das momentan verwendete Wäge-Konzept besitzt eine Messgenauigkeit von  $\pm 0.25\%$ . Für eine 6480 h pro Jahr betriebene Anlage ergibt das Verlustkosten von rund 800'000 Euro pro Jahr. Daher soll mit einer Konzeptstudie ein Lösungskonzept erarbeitet werden, mit welchem die Systemgenauigkeit beim Wäge-Vorgang erhöht werden kann.

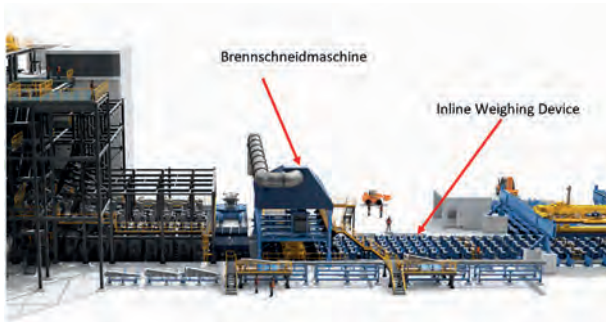


Abb. 1: Ausschnitt der Stranggiessanlage

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde das momentane Wäge-Konzept analysiert und eine Konkurrenzanalyse durchgeführt. Die dabei zu beachtenden Hauptschwierigkeiten sind die rauen Umgebungsbedingungen wie die hohen Abstrahlungstemperatur des Knüppels, Vibrationen und ein hohes Gesamtgewicht von bis zu 20 Tonnen.

Als Nächstes wurde eine breit gefächerte Technologie- und Marktrecherche über die Teilfunktionen Gewichtsaufnahme, Querkraftaufnahme und Anhebe-Mechanismen durchgeführt und mögliche Konzepte zusammengestellt. Mit einer Bewertung anhand der Anforderungskriterien wurde ein Lösungskonzept und eine Konzeptskizze (Abb. 2) erstellt.

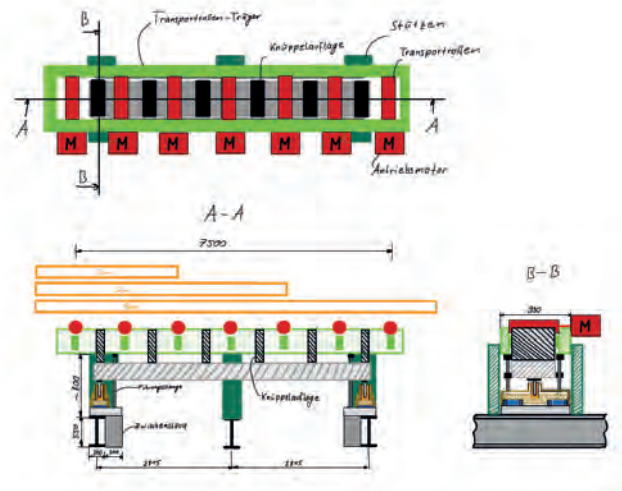


Abb. 2: Erstellte Konzeptskizze

### Ergebnis

Das Resultat der Arbeit zeigt, dass das Tara-Gewicht einen grossen Einfluss auf die Wäge-Genauigkeit hat. Mit weiteren Optimierungen der Teilfunktionen Querkraftaufnahme, Gewichtsaufnahme und Kalibrierung und Versuchsdurchführungen kann eine zusätzliche Erhöhung der Genauigkeit erreicht werden. Der grösste Einfluss hat die Wägezelle selbst. Die Entwicklung einer Wägezelle mit Dünnschicht-Technologie (Abb. 3) erzielt am ehesten eine Erhöhung der Wäge-Genauigkeit, da der Fokus auf die Störgrössen instationäre Temperaturänderungen, Vibrationen und Schläge gelegt werden kann.

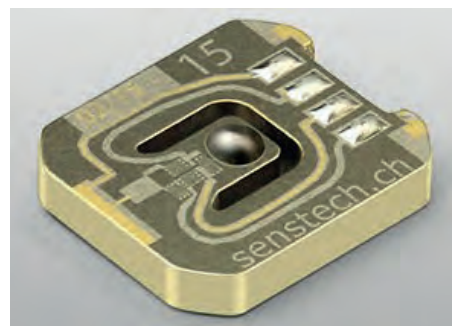


Abb. 3: Dünnschichtsensor



**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

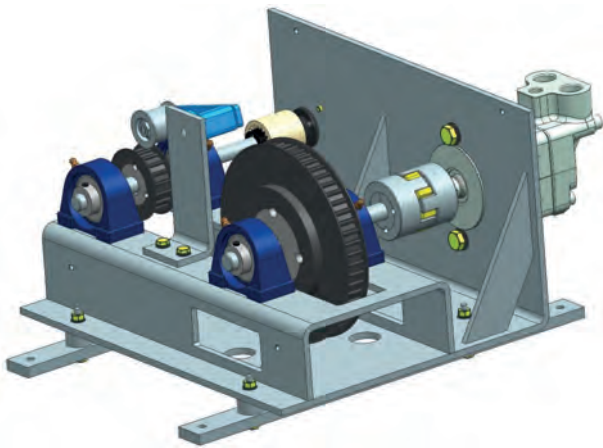
**Julian Lütolf**  
**Prof. Dr. Johann Lodewyck**  
**Kraftwerke Oberhasli AG**  
**Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Entwicklung eines Druckübersetzers für Wasserkraftwerk

### Ausgangslage

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) betreibt im Grimsel- und Sustengebiet mehrere Wasserkraftwerke und führt Instandhaltungsarbeiten an Kraftwerksanlagen durch. In einigen Kraftwerken der KWO sind als Absperrorgane Kugelschieber verbaut, deren wasserhydraulischer Antrieb über einen wartungsintensiven Ringkolben erfolgt. Im Rahmen einer vorangegangenen Diplomarbeit wurde ein Antriebskonzept erarbeitet, bei dem die Kugelschieber ölhydraulisch angetrieben werden. Das Sicherheitskonzept verlangt, dass der Antrieb auch bei einem Ausfall der Stromversorgung mit hydraulischer Energie versorgt wird.

Zur Bereitstellung ölhydraulischer Energie soll ein Druckübersetzer entwickelt werden, welcher mit dem niedrigen Wasserdruck des Kraftwerkes angetrieben wird und diesen auf ein höheres ölhydraulisches Druckniveau anhebt. Das Ziel ist der Aufbau eines Funktionsmusters, welches in einem Kraftwerk der KWO installiert und getestet werden kann.



**Abb. 1:** Funktionsmuster der Druckübersetzereinheit mit Riemengetriebe (ohne Schutzabdeckung dargestellt)

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde hinsichtlich der Aufgabenstellung ein Konzept für einen Druckübersetzer auf Basis eines hydrostatischen Getriebes entworfen. Danach erfolgte die entscheidende Auswahl eines Wassermotors aus einem bescheidenen Angebot an Herstellern. Für die Ölhydraulik wurde in Zusammenarbeit mit einer spezialisierten Firma eine hydraulische Schaltung entwickelt und auf einem vorhandenen Hydraulikaggregat realisiert. Die Wahl der Ölpumpe machte eine Übersetzung zum Wassermotor notwendig. Hierzu wurde ein Riemengetriebe ausgelegt und eine Blechkonstruktion für die Druckübersetzereinheit konstruiert (Abb. 1). Anschliessend erfolgte die Bestellung, Herstellung sowie Montage sämtlicher Komponenten für die Druckübersetzereinheit und die Wasserhydraulik.

### Ergebnis

Das Funktionsmuster wurde bei der Ölhydraulik-Firma mit einem festgelegten Wasserstrom in Betrieb gesetzt. Sämtliche ölhydraulischen Funktionen konnten beim Test ausgeführt werden. Mit dem Funktionsmuster wird nun in einem Kraftwerk der KWO ein Funktions- sowie Dauertest durchgeführt. Von diesen Tests liegen daher noch keine Resultate vor. Eine Herausforderung werden die Wasserverunreinigungen (Sedimenteintrag) und der Betrieb der diesbezüglich erforderlichen Filtertechnik sein.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Kilian Marty  
Prof. Dr. Johann Lodewyck  
Ghelma AG Spezialtiefbau  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Aufbau eines Pumpenprüfstandes für Bohrspülflüssigkeiten

### Ausgangslage

Die Arbeit wird mit der Firma Ghelma AG Spezialtiefbau durchgeführt. Um den Bohrprozess bei Bohrarbeiten beim Erstellen von Pfahlgründungen zu unterstützen, werden Bohrspülflüssigkeiten eingesetzt. Als solche werden komprimierte Luft, Wasser oder Zementsuspension eingesetzt. Beim Erstellen von Mikropfählen zur Pfahlgründung setzt der Industriepartner zwei spezielle Bohrverfahren ein. Bei diesen wird während des Abbohrens die Zementsuspension direkt injiziert. Bei diesem Bohrverfahren entsteht ein Rückfluss aus der abrasiven, alkalischen Zementsuspension und dem Bohrklein. Dieser Rückfluss soll durch eine Pumpe transferiert werden.

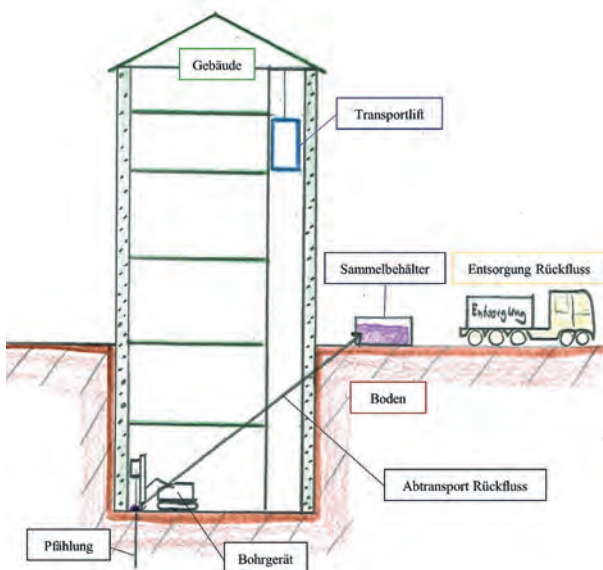


Abb. 1: Skizzierte Ausgangslage

### Vorgehen

Um die Funktion der Pumpe zu gewährleisten, wird ein Prüfstand entwickelt. Anhand der Anforderungen (Pflichtenheft) werden Testpumpen beschafft und am Prüfstand getestet. Dieser wird mit Sensoren zur Erfassung von Drücken, Temperaturen, pH-Wert sowie zur Aufzeichnung des

Füllstandes des Messbehälters und der elektrischen Leistung ausgestattet. Aus dem Volumenstrom und dem statischen Druck wird die Fluidleistung bestimmt. Diese wird mit der aufgewendeten elektrischen Leistung verglichen, um Aussagen zum Wirkungsgrad zu erhalten. Als Prüflinge stehen drei verschiedene Pumpentypen zur Verfügung. Es sind dies die Druckluftmembranpumpe Tapflo TXT120ATT, die Exzentrerschneckenpumpe KL30S 50.0 sowie die Schlauchquetschpumpe Bredel SPX 40. Parallel werden drei Konzepte zur Eigenentwicklung der Förderaufgabe erstellt.

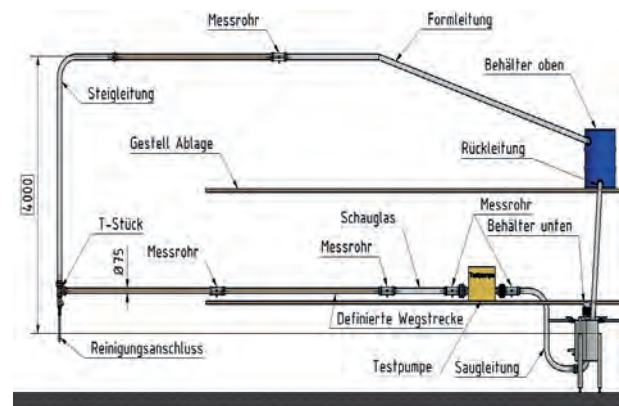


Abb. 2: Darstellung Prüfstand

### Ergebnis

Lösungsansätze sind ein hydraulischer Druckübersetzer, eine Hubkolbenpumpe mit Vakuumsaugung und eine Förderpumpe mit vorgeschaltetem Mahlwerk. Aufgrund von Lieferengpässen der Messkomponenten konnten im Rahmen der Arbeit noch keine Messungen mit den Prüflingen durchgeführt werden. Die Inbetriebnahme des Prüfstandes sowie erste Funktionsversuche sollen in den Wochen vor der Abschlusspräsentation erfolgen. Wird die Erfüllung der Funktion gewährleistet, werden Untersuchungen zu Verschleiss und Standzeit durchgeführt. Weiter sollen Einsätze auf Baustellen auch die Praxistauglichkeit der Pumpen bestätigen.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Diogo Monteiro  
Prof. Dr. Gerhard Stefan Székely  
RUAG Space  
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel  
Produktenwicklung & Mechatronik**

## Solar Array Wing Deployment Jig

### Ausgangslage

Die RUAG Space ist führender Lieferant von Weltraum-Mechanismen. Derzeit liefert sie Niederhalte- und Auslösemechanismen, Antriebs- und Teile von Ausfahrmechanismen für Solarflügel sowie Spezialmechanismen für Forschungsinstrumente. Die RUAG Space erweitert ihr Portfolio mit dem Anbieten von kompletten Solar Array Wings (SAW). Ein heikler Punkt in der Mechanismen-Entwicklung ist das Testen in repräsentativer Umgebung. Da SAWs im Orbit entfaltet und betrieben werden, sind die Strukturen filigran gebaut, müssen aber dennoch auf der Erde getestet werden können. Um dies zu ermöglichen, werden entsprechende «Zero-G» Aufbauten benötigt.

In dieser Bachelorarbeit wurde ein «Zero-G» Device entwickelt, genannt *Solar Array Wing Deployment Jig* (SAWD). Das SAWD soll sicherstellen, dass die Gravitationskräfte auf die Solarflügel minimiert werden. Aktuell verwendete SAWDs sind alle passiv, das bedeutet, sie halten die SAW und lassen sich mitziehen (Abb. 1). Um die Kräfte durch das Mitziehen der Brücken und Laufkatzen noch mehr zu reduzieren, sollen diese aktiv kontrolliert werden, so dass der Schwerpunkt der einzelnen Panels zu jeder Zeit genau unter dem Aufhängepunkt ist. Dies wird mit Aktoren und Sensoren ermöglicht und simuliert im Test eine realere Umgebung als die passiven Systeme. Das Konzept wurde in einer vorgängigen Projektarbeit an der HSLU evaluiert.

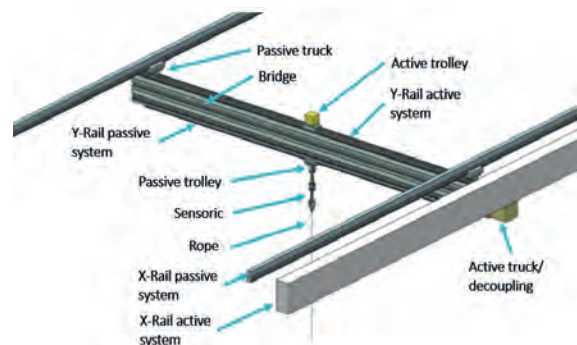


**Abb. 1:** Passives System von der ESA  
(Foto: BepiColombo MTM Solar Array deployment  
ESA ESTEC 16 April 2017 Carreau 2017)

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde das grobe Konzept evaluiert und aus diesem die einzelnen Komponenten spezifiziert. Mit einer Entscheidungsmatrix wurden die verschiedenen Konzepte validiert und angepasst. Das Konzept funktioniert ähnlich wie ein Deckenkran, bestehend aus einer auf Längsschienen (X-Rail) fahrenden Brücke (Bridge), auf welcher eine Laufkatze (Trolley) eine Lateralverschiebung der Auf-

hängung ermöglicht. Da ein Test unter keinen Umständen abgebrochen werden darf und die Panels nicht beschädigt werden dürfen, muss das System aus dem Aktiv-Modus instantan in ein Passiv-Modus wechseln können. Aus diesem Grund ist die Schienenführung in beiden Fahrrichtungen für den passiven und für den aktiven Modus doppelt vorhanden. In Abb. 2 ist das Konzept visualisiert und seine Komponenten für das passive System aufgelistet. Das passive System arbeitet ohne Aktoren und soll gute Gleiteigenschaften aufweisen und nur mit den Kräften des SAW ausgefahren werden. Das aktive System soll diesen Prozess unterstützen, soll jedoch entkoppelt werden können, damit es nur passiv verfahren kann. Damit das Konzept geprüft werden kann, wurde ein Prototyp für den passiven Teil erstellt.

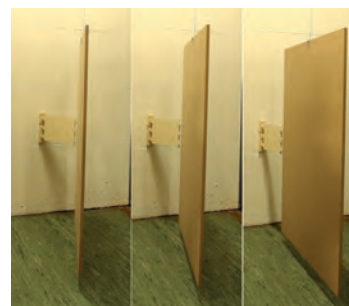


**Abb. 2:** Komponenten für den SAWD

### Ergebnis

Die Konzeptstudie zeigt, dass es möglich ist, ein aktives/passives System zu konstruieren, welches sich voneinander entkoppeln lässt. Der gefertigte Prototyp (Abb. 3) ist auf modulare Weise aufgebaut und kann mit geringem Aufwand erweitert werden.

In den nächsten Arbeiten soll das passive System getestet werden, die Antriebseinheiten konstruiert und gebaut so wie die Steuerung und Regelung entwickelt werden.



**Abb. 3:** Aktueller passiver Prototyp beim Ausfaltprozess



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Raphael Moretti  
Prof. Dr. Gerhard Stefan Székely  
CC Bioscience and Medical Engineering  
Dipl. Ing. Paul Joachim Schüngel  
Produktentwicklung & Mechatronik**

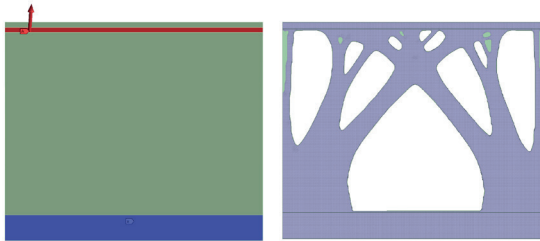
## Analyse und Optimierung der Befestigung von Experimentboxen in einer Höhenforschungsrakete

### Ausgangslage

Für die Untersuchung von Zellmaterial ist ein Flutungssystem entwickelt worden, welches nun in vier Experimentboxen in einer MASER Höhenforschungsrakete mitfliegen soll. Daher ist für die Befestigung der Experimentboxen ein Konzept ausgearbeitet worden und in dieser Arbeit wird dieses Konzept optimiert und analysiert. Denn bei einem solchen Parabelflug kommen hohe Belastungen vor und diese muss die Konstruktion aushalten. Ziel dieser Thesis ist ein Produkt, welches unter anderem die hohen Beschleunigungen aushält und zum anderen die starken Vibrationen und daraus folgenden Schwingungen einstecken und möglichst gut dämpfen kann..

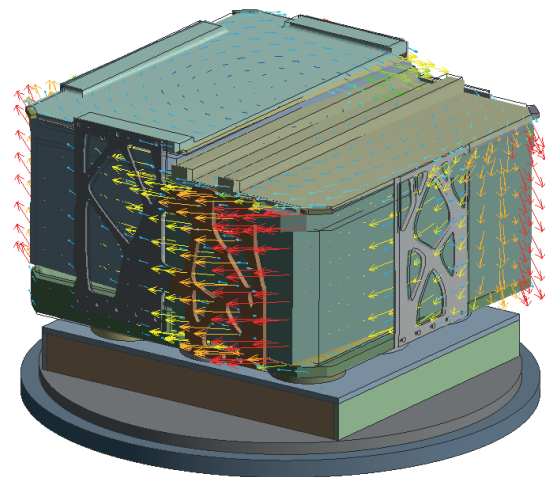
### Vorgehen

Als erstes musste ein FEM-Modell der Gesamtbaugruppe erstellt werden, damit mit dem bisherigen Konzept eine statisch-mechanische Analyse aufgrund der maximalen Belastungen durchgeführt werden kann. Die auftretenden Kräfte konnten dann an den Kontaktstellen ausgelesen werden und für die Auslegung der Seitenbleche genutzt werden. Denn im nächsten Schritt wurde eine Topologieoptimierung der Seitenbleche (Abb. 1) durchgeführt, um dadurch deren Massen um 40% zu senken.



**Abb. 1:** Resultat der Topologieoptimierung eines Seitenbleches

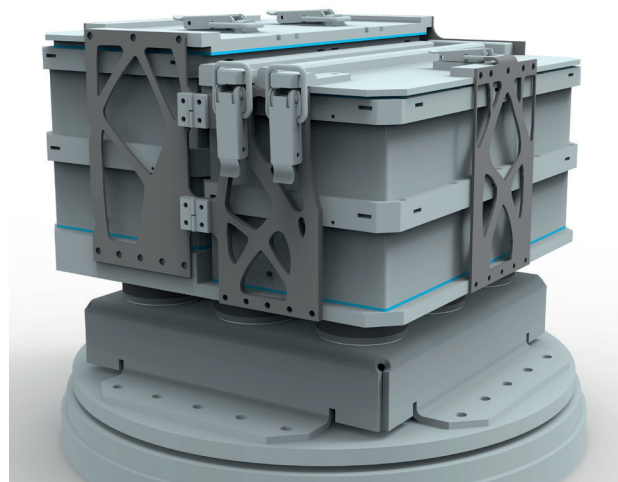
Mit der neuen Struktur musste erneut eine statisch-mechanische Analyse durchgeführt werden, damit die benötigten Sicherheitsfaktoren in einer Festigkeitsanalyse nachgewiesen werden können. Darauf folgend wurde für die Auslegung der Dämpfung, das optimierte System schwingungstechnisch in einer Modalanalyse untersucht. Die Modalanalyse liefert die Eigenfrequenzen, bei denen das System zu Resonanzen neigt und die Schwingungsform, welche bei einer solchen Frequenz auftritt (Abb. 2). Diese Informationen können in einer harmonischen Analyse und einer Zufallschwingungsanalyse (PSD) weiter untersucht werden. In der harmonischen Analyse wird mit einer Fusspunktanregung von  $1 \text{ m/s}^2$  bei verschiedenen Frequenzen die Antwortbeschleunigung ausgewertet und dadurch die Übertragungsfunktion bestimmt. Bei zufälligen Schwingungen, wie bei Vibrationen, kann mit einer PSD Analyse deren Auswirkung auf die Struktur untersucht werden.



**Abb. 2:** Darstellung einer Verformung aufgrund der Anregung mit einer Eigenfrequenz

### Ergebnis

Die optimierte Struktur hat trotz geringerem Gewicht die Festigkeitsanforderungen erfüllt und mit der Untersuchung der Schwingungsdämpfer konnte das dynamische Verhalten beschrieben werden. Bei der geeigneten Wahl des Dämpfers konnte sogar eine Reduktion der Vibrationslasten auf den Experimentboxen um 80% erreicht werden.



**Abb. 3:** Optimierte Baugruppe auf dem Experimentdesk mit den vier Experimentboxen montiert



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Khanh Bang Nguyen  
Prof. Dr. Rolf Kamps  
Bühler AG  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Food Fraud Sensorsystem mit KI-Bilderkennung

### Ausgangslage

Für eine neue Generation Getreidereiniger, als Qualitäts-tool für geerntetes Getreide und für die Überwachung von Produktionszwischenschritten ist ein Sensorsystem zu entwickeln, das Getreidesorten erkennen, Verunreinigungen zuordnen und quantifizieren sowie sortenfremde Beimischungen detektieren kann. Das System muss das zu untersuchende Getreide vorreinigen und aufbereiten, damit der Grad der Verunreinigung, die Getreidesorte und etwaige Fremdbeimischungen qualitativ und quantitativ erkannt werden können. Hier ist in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich der Elektrotechnik ein Gesamtsensorsystem zu entwickeln. Der Umfang für diese Arbeit ist die Konzeptentwicklung und die Gestaltung der Probenvorbereitung sowie die Gehäusegestaltung für das Sensorsystem, um die Bilderkennungselemente staubdicht verbauen zu können.

Das Sensorsystem muss im rauen Produktionsbetrieb einfach bedient werden können und in den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen weltweiter Standorte mit allen Temperatur- und Feuchteschwankungen sicher funktionieren. In Abstimmung mit der Bühler AG wurden hierzu die Anforderungen an das System spezifiziert.

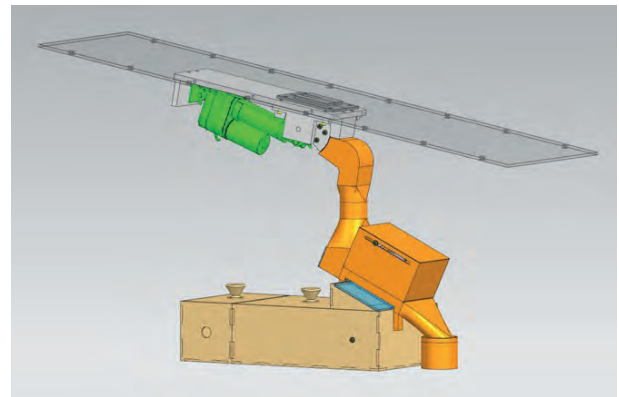


Abb. 2: Gesamter Prototyp des Sensorsystems in CAD

### Vorgehen

In der Phase der Konzepterstellung und Auswahl wurden verschiedene Untersuchungen und Versuchsaufbauten durchgeführt, um die Konzeptideen zu verifizieren. Erkenntnisse dieser Voruntersuchungen und die Bewertung der Teillösungen führten zu einer Konzeptwahl, welches die Proben periodisch aus einem Trogkettenförderer entnimmt. Diese Probenmenge wird dann der Bilderkennungsstation zugeführt, in der die Analyse hinsichtlich Getreidesorte, Besatz und Beimischungen erfolgt. Anschliessend gelangt die Probe in einen Auffangbehälter und kann als Rückstellmuster archiviert werden. Der gesamte Sensorsystem wurde in CAD konstruiert und mit verschiedenen Additive Manufacturing Verfahren (3D-Druck) hergestellt und die notwendigen elektronischen Komponenten ausgewählt.

### Ergebnis

Die gesamte Sensoreinheit ist eine eigenständige Baugruppe, die an jeden beliebigen Trogkettenförderer angebaut werden kann. Hierzu sind nur geringe Arbeiten am Bodenblech eines Trogkettenförderers notwendig. Die notwendigen Beleuchtungssysteme für Auf- und Durchlicht wurden erprobt, die Belichtungszeit wurde ermittelt und entsprechend der Fließgeschwindigkeit des Produktes so ausgelegt, dass Bilder in der notwendigen Auflösung gemacht werden können. Das gesamte Softwaresystem läuft autark.

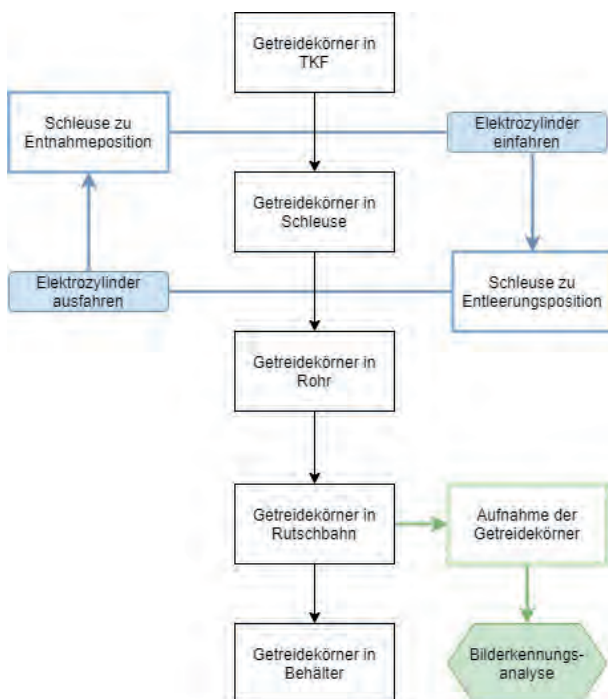


Abb. 1: Ablaufdiagramm des Prototyps



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Matias Okic  
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchofer  
Eugster Frismag AG  
B. Sc. ME Stephanie Janssen  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Analyse des Brühprozesses einer espressomaschine

### Ausgangslage

Bei der Zubereitung eines Espressos sind verschiedene Faktoren entscheidend, wie zum Beispiel der Mahlgrad, die Brühtemperatur, die Presskraft und weitere. Das Kernziel der Aufgabenstellung war das Entwickeln eines Kaffeeroboters, welcher stets den perfekten Espresso brüht. Dazu muss der Kaffeebrühprozess im Detail untersucht und verstanden werden. Aus dieser Erkenntnis hat sich die anfängliche Aufgabenstellung in diese Richtung verändert. In enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner und dem betreuenden Dozenten wurde eine Aufgabenstellung erarbeitet, welche den Fokus auf die Analyse des Espressobrüehens richtet.

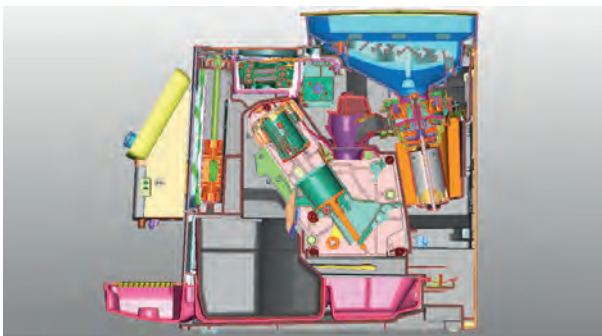


Abb. 1: Schnitt Kaffeemaschine

### Vorgehen

Die Kaffeemaschine, welche vom Industriepartner zur Verfügung gestellt wird (Abb. 1), wird mit verschiedensten Sensoren ausgestattet, damit alle zur Zubereitung des Espresso beitragenden Faktoren gemessen und analysiert werden können. Dadurch sollen die Zusammenhänge zwischen den gemessenen Variablen (Abb. 2) ermittelt werden, welche als Basis für die Entwicklung eines Kaffeeroboters dienen. Zusätzlich soll die Analyse Auskunft über die Funktionsweise der Kaffeemaschine des Industriepartners geben, womit allfällige Verbesserungen der Maschine in Betracht gezogen und als Empfehlung abgegeben werden können.

### Ergebnis

Mit den ermittelten Daten und deren Analyse konnten sehr viele Informationen über den Prozess des Kaffeebrühens gewonnen werden. Diese können als Grundlage zur Entwicklung eines Kaffeeroboters genutzt werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass die Mahlgradeinstellung eine wesentliche



Abb. 2: Korrelationsmatrix der ersten Messreihe

Auswirkung auf den finalen Extraktionsgehalt des gebrühten Kaffees hat (Abb. 3). Die Menge der gemahlten Bohnen hingegen hat jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den Extraktionsgehalt aufgezeigt, obwohl man als Bediener der Kaffeemaschine stets das Gefühl hat, dies beeinflussen zu können.



Abb. 3: Veränderung des Extraktionsgehalts bei Variation des Mahlgrads



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Benedict Omlin  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Institut IME, CC TEVT  
Dr. Pierre Krummenacher  
Energie, Fluide und Prozesse

## Simulationsbasierte Validierung von PinCH-Wärmeübertrager-Netzwerken mit Modelica

### Ausgangslage

Mehr als die Hälfte der verwendeten Energie in der Industrie wird für das Aufwärmen bzw. Abkühlen von Prozessströmen benötigt. Die Wärmerückgewinnung (WRG) zwischen Prozessströmen ist für die Steigerung der Energieeffizienz entscheidend. Eine optimale WRG kann mithilfe von Wärmeübertrager-Netzwerken (Heat Exchanger Network, HEN) erreicht werden. In diesen werden abzukühlende und aufzuwärmende Prozessströme durch Wärmeübertrager miteinander verbunden, um Wärmeenergie optimal zu nutzen. HEN mit dem Ziel einer hohen WRG und Wirtschaftlichkeit werden mithilfe von Pinch-Analysen (PA) erstellt (Abb. 1).

In Pinch-Analysen werden die auftretenden Prozessstrom-Variabilitäten vernachlässigt. Dies hat zur Folge, dass nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass die HEN den realen Betriebsbedingungen standhalten können. Eine dynamische Simulation soll das Verhalten des HEN über die Zeit unter Betriebsbedingungen mit Prozessstrom-Variabilitäten voraussagen. Damit kann die Funktionsfähigkeit eines HEN bereits in der Konzeptionsphase geprüft werden.

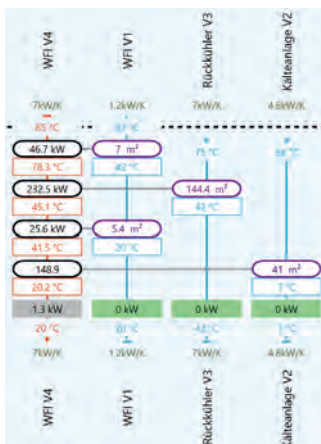


Abb. 1: Wärmeübertrager-Netzwerk (HEN) für einen Prozess aus der Pharmaindustrie; erstellt mittels Pinch-Analyse

### Vorgehen

Die Arbeit befasst sich mit der dynamischen Simulation von HEN aus der Pinch-Analyse und verfolgt das Ziel, die Praxistauglichkeit von HEN zu überprüfen und zu erhöhen. Um die HEN dynamisch simulieren zu können, wurde die Software Modelica verwendet. Damit das HEN in Modelica modelliert werden kann, wurde ein Python-Programm entwickelt, welches ein identisches Modelica-HEN erzeugt (Abb. 2). In Modelica können die in einem Betrieb auftre-

tenden Variabilitäten implementiert und das Modell dynamisch simuliert werden. Das Modelica-Modell wurde für einen Prozess aus der Pharmaindustrie angewendet (siehe Abbildungen). Die Simulationsergebnisse für die Wärmeströme innerhalb des HEN wurden mit den Messdaten verglichen.

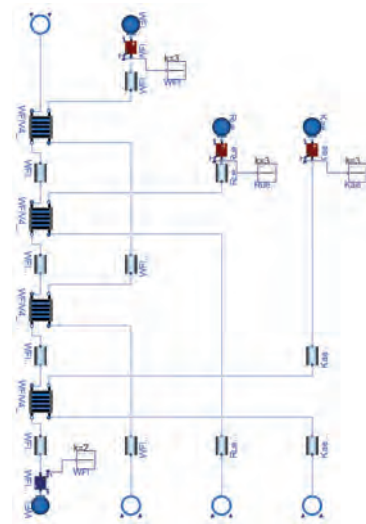


Abb. 2: HEN für den betrachteten Prozess aus der Pharmaindustrie; «übersetzt» in Modelica

### Ergebnis

Das Modelica-Modell weist eine hohe Genauigkeit auf. Die simulierten Wärmeströme weichen nur geringfügig von den gemessenen Wärmeströmen ab (Abb. 3). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Anwenderin oder ein Anwender die Funktionsfähigkeit eines HEN bereits in der Konzeptionsphase abschätzen kann. Dies ist wertvoll für die Planung und Umsetzung von WRG-Massnahmen.

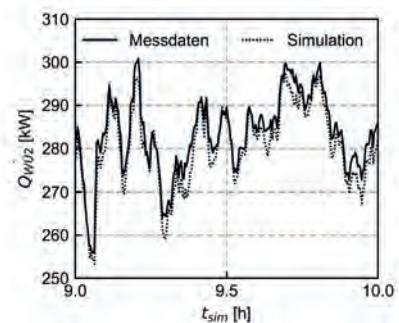


Abb. 3: Gemessener und simulierter Verlauf eines Wärmeübertragers im untersuchten HEN





Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Manuel Omlin  
Dr. Adrian Koller  
Institut IME, CC Mechanische Systeme  
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Simulationsmodell für einen Feldroboter

### Ausgangslage

Das Unkraut auf landwirtschaftlichen Feldern verringert den Ertrag des Produktes sowie dessen Qualität. Die Vernichtung des Unkrautes durch Pestizide, welche bei der Unkrautbekämpfung häufig zum Einsatz kommen, ist schädlich für Mensch und Umwelt. Das alternative Verfahren des Ausgrabens mit den Wurzeln hingegen ist bei hoher Unkrautdichte unpraktisch und kann bei ausgelösten Samen zusätzlich zu noch mehr Unkraut führen. Durch einen autonom mähenden Feldroboter kann genau diese Problematik umgangen werden. Mit dem Projekt «ARA-WEX - A Rather Advanced Weed Exterminator», einer Initiative der Hochschule Luzern, soll ein intelligenter, autonomer Feldroboter für Felder mit steilen und zerklüften Weiden entwickelt werden. Das Konzept der Unkrautbekämpfung besteht darin, es gezielt aushungern zu lassen, in dem es in regelmässigen Abschnitten mechanisch entfernt wird. Für den Roboter soll ein Simulationsmodell erstellt werden, in dem unter anderem nichtlineare Verhalten wie die Traktion simuliert werden können. Als Basis-Modell für die Simulation wird der Aufsitzmäher «AS 940 Sherpa 4WD RC» der Firma AS Motors gefordert (Abb. 1).

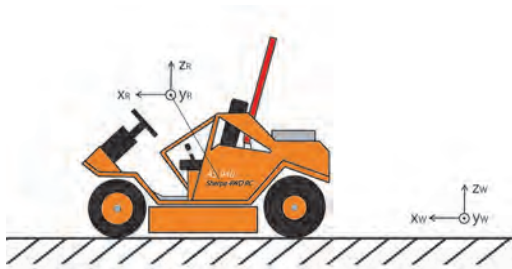


Abb. 1: Aufsitzmäher «AS 940 Sherpa 4WD RC» der Firma AS Motor diente als Basis-Modell der Simulation

### Vorgehen

Die Simulation wurde mit der Software Python 3.8.2 entwickelt. In einem ersten Schritt wurde die Struktur der Simulation erstellt. Sie besteht aus einem Hauptprogramm und einem Unterprogramm. Das Hauptprogramm beinhaltet die Benutzereingaben sowie die Funktionen für die verschiedenen Plots und ruft das Unterprogramm auf, in welchem die mathematischen Gleichungen des Modells hinterlegt sind. Um die mathematischen Gleichungen herzuleiten, wurden Theorien verschiedener Literaturen miteinander verglichen und verknüpft.

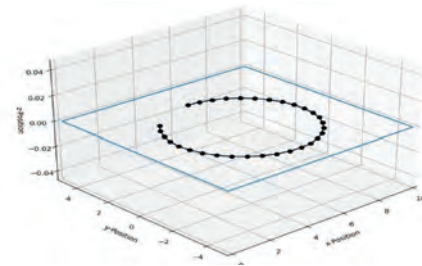


Abb. 2: Darstellung der Kurvenfahrt in der Ebene

### Ergebnis

Das entwickelte Simulationsmodell ist durch die Inputs «Leistung» und «Lenkwinkel» sowohl fahr- als auch steuerbar (Abb. 2 und Abb. 3).

Weiter können anhand von den äusseren Kräften, welche auf den Roboter wirken, die maximalen Antriebskräfte bestimmt werden, welche eine rutschfreie und somit eine kontrollierte Fortbewegung ermöglichen. Die genaue Betrachtung der Traktion im Hinblick auf das Rutschverhalten bedarf einer aufwändigen FEM-Analyse, um präzise Aussagen treffen zu können. Das erstellte Simulationsmodell bildet somit ein erster Grundstein, auf welchem weiter aufgebaut werden kann.

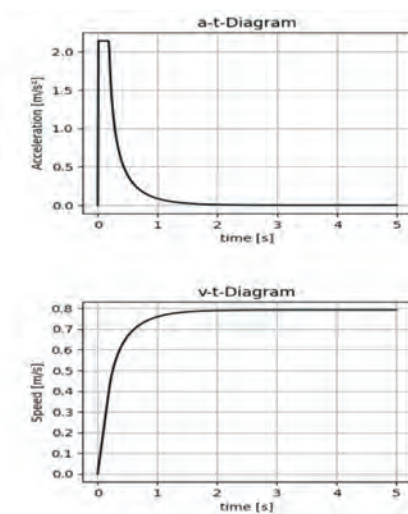


Abb. 3: Beschleunigungs- respektive Geschwindigkeitsverlauf durch einen sprungförmigen Leistungsinput (ohne Traktionsverlust)



**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

**Janis Perren**  
**Dr. Adrian Koller**  
**Institut IME, CC Mechanische Systeme**  
**Dipl. Ing. Paul Joachim Schüngel**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Neuentwicklung des Postprozessors von RoboDK

### Ausgangslage

Roboter sind aus der Industrie nicht mehr wegzudenken und erlangen zunehmend an Aufmerksamkeit. In den meisten Anwendungen befindet sich ein Entwickler neben einem Roboter, um diesen zu programmieren. Dies führt zu langen Standzeiten und erfordert physische Anwesenheit. Diese Art der Programmierung wird Online-Programmierung genannt. Die Offline-Programmierung wird mit einer vorherigen Simulation realisiert, in welcher die gesamte Applikation programmiert werden kann und diese nur noch auf den realen Roboter geladen werden muss, sobald sie fertiggestellt ist. RoboDK ist ein Programm, welches solche Simulationen von Robotern verschiedensten Herstellern ermöglicht. An der HSLU wird das Arbeiten mit RoboDK bereits gelehrt, allerdings gibt es Lücken in der Funktionalität der Schnittstelle zwischen dem Simulationsprogramm und dem Roboterprogramm. Die Schnittstelle ist dafür zuständig, aus dem Simulationsprogramm ein lauffähiges Roboterprogramm zu generieren. Diese Schnittstelle gibt es in diesem Projekt zu analysieren und mit einem geeigneten Konzept zu verbessern.

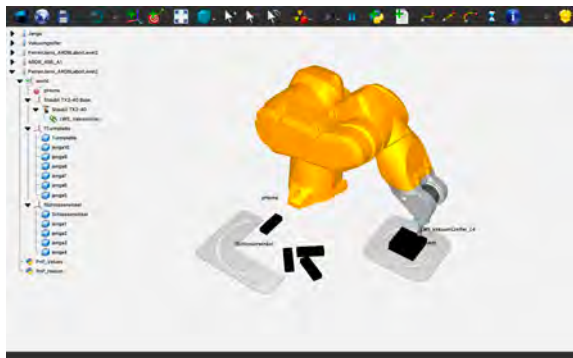


Abb. 1: Beispiel einer Simulation in RoboDK

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde recherchiert, wie die Schnittstelle genau arbeitet und inwieweit sie in der Theorie anpassbar ist. In einem zweiten Schritt wurde die Funktionalität der Schnittstelle getestet. Dazu wurden verschiedenste Simulationsprogramme als Use-Cases definiert und mit der Schnittstelle in Roboterprogramme umgewandelt. Damit konnte aufgezeigt werden, welche Funktionen richtig übersetzt werden, und welche nicht. Nach der Analyse konnten einige Konzepte erarbeitet werden, um die Schnittstelle zu verbessern oder gar zu ersetzen.

### Ergebnis

Die Recherche über die Arbeitsweise der Schnittstelle hat ein Diagramm ergeben, welches in Abbildung 2 zu sehen ist. Die Schnittstelle wandelt das



Abb. 2: Flussdiagramm einer Generierung eines Roboterprogrammes in RoboDK

Simulationsprogramm zuerst in ein Zwischenprogramm um, und bezieht dann einen Postprozessor ein. Das Zwischenprogramm ist hierbei noch unabhängig vom gewählten Robotermodell und -hersteller. Der Postprozessor hat dann die Aufgabe, dieses unabhängige Zwischenprogramm in ein gewünschtes Format für den gewählten Roboterhersteller umzuwandeln.

Der erste Übersetzungsschritt (in Abb. 2 blau dargestellt) ist nicht manipulierbar. Das Simulationsprogramm wird in diesem Schritt linearisiert. Man stelle sich vor, jemand lässt das Simulationsprogramm laufen und notiert sich dabei jede Aktion, welche der Roboter in der Simulation ausführt. Diese Aktionen werden dann im Zwischenprogramm aufgelistet. Allerdings ist dort nichts mehr von der eigentlichen Programmierung ersichtlich. Es ist daher nicht möglich, die Logik des Simulationsprogrammes im Roboterprogramm zu rekonstruieren. Ausserdem befinden sich im Zwischenprogramm nur explizit die Aktionen, welche von RoboDK übersetzt werden sollen. Möchte man also eine für einen Roboterhersteller spezifische Aktion ausführen, ist das nicht möglich. Es zeigten sich auch mehrere Schwachstellen im Schritt zwei (in Abb. 2 grün dargestellt), welcher den Postprozessor betrifft. Einige grundlegende Funktionen, welche für ein Roboterprogramm nötig sind, wurden nicht richtig umgewandelt, oder gar ignoriert.

Zur Lösung dieser Probleme wurde ein Konzept entwickelt, welches den Postprozessor optimiert und eine Python-Library zur Verfügung stellt, welche im Simulationsprogramm genutzt werden kann. Die Python-Library hat die Aufgabe, einerseits den Programmierer bei der Entwicklung durch Funktionen zu unterstützen und hat andererseits die Aufgabe, bestimmte Befehle durch eine Manipulation von Schritt 1 an den Postprozessor zu übergeben. Damit ist es nun möglich, spezielle Aktionen, welche RoboDK eigentlich nicht übersetzt, in das Roboterprogramm schreiben zu lassen.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Lukas Schaller  
Prof. Dr. Carsten Haack  
Aceon AG  
Dr. Rudolf Morach  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Kostenoptimierung bei einem Bauteil für die Serienproduktion

### Ausgangslage

Abb. 1 zeigt den Bohneneinlass einer Kaffeeröstmaschine. Dieses Bauteil wird zurzeit in einer Nullserie hergestellt und in Betrieb genommen. Ziel der Arbeit ist es, dieses Bauteil im Hinblick auf eine Serienproduktion bezüglich der Kosten zu optimieren. Ferner soll die Röstmaschine mittels einer ABC-Analyse auf weiteres Einsparungspotential untersucht werden.

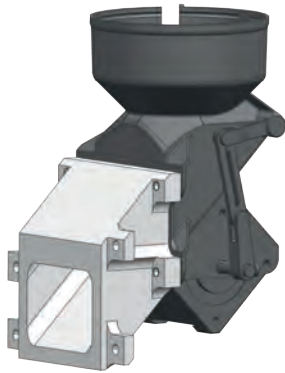


Abb. 1: Bohneneinlass, gefertigt im SLM-Verfahren (dunkel) mit gefrästem Zwischenstück (hell)

### Vorgehen

Das bis anhin verwendete Fertigungsverfahren für den Bohneneinlass ist das selektive Laserschmelzen. Dieses ist für kleine Stückzahlen sinnvoll, aber zu teuer für eine Serienproduktion. Nebst der in Abb. 2 dargestellten, im Spritzgussverfahren gefertigten Variante, wurde auch eine Variante als Blechbauteil erarbeitet. Auf Basis von Offerten wurden anschliessend diese Varianten bezüglich ihrer Fertigungskosten miteinander verglichen. Eine Kennzahl dafür, wie schnell eine getätigte Investition amortisiert werden kann,

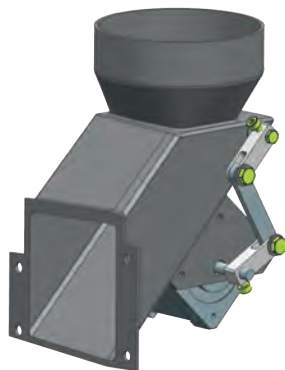


Abb. 2: Der im Spritzgussverfahren gefertigte Bohneneinlass mit Klappenmechanismus (Klappe ist geöffnet)

ist die Amortisationsdauer (AD). Je tiefer diese ausfällt, desto schneller ist der Break-even-Point erreicht. Der Zielwert der AD hängt von der Branche ab.

### Ergebnis

Aufgrund der geringen Investitionskosten weist das Blechbauteil eine besonders tiefe AD von 0.032 Jahren auf. Für das Spritzgussverfahren fallen aufgrund der Werkzeuge anfänglich hohe Investitionskosten an. Daher liegt die AD mit 0.23 Jahren höher, ist aber immer noch in einem akzeptablen Bereich. Abb. 3 zeigt, dass der Bohneneinlass als Spritzgussbauteil, nach der Amortisation der Investitionskosten, mit 9.90 CHF/Stk. günstiger ist als die Variante aus Blech (12.22 CHF/Stk.). Der Klappenmechanismus, welcher als Frästeil realisiert wurde, ist bei beiden erarbeiteten Varianten identisch. Die zwei neuen Bauteile unterschreiten die Kosten des aktuellen Bohneneinlasses deutlich.

Die ABC-Analyse zeigte, dass die 37 teuersten Bauteile der Röstmaschine für 70 % der Gesamtkosten verantwortlich sind. Bei diesen als A-Teile bezeichneten Werkstücken ist es besonders lohnend eine Kostenreduktion zu prüfen.



Abb. 3: Herstellkosten der Baugruppen bei 1'000 Stück



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Marco Schmid  
Prof. René Bärtsch  
Garaventa Seilbahnen AG  
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Periodische Bremsprüfung für Fangbremsen bei Standseilbahnen

### Ausgangslage

Während des Lebenszyklus von Standseilbahnen werden die Fangbremsen (Abb. 2) einmalig getestet und anschliessend eingestellt. Dies geschieht während einem dynamischen Prüfverfahren. Die Wagen werden unter Vollbelastung an der steilsten Stelle bei maximaler Geschwindigkeit mit dem Fangbremssystem bis zum Stillstand gebremst. Die Fangbremsen drücken dabei mit voller Kraft auf den Schienenkopf. Anhand der Länge der Bremsspuren wird auf die Verzögerung zurückgeschlossen. Durch Einstellen der Anpresskraft der Fangbremsen wird eine Verzögerung von  $1.5 \text{ m/s}^2$  angestrebt. Aufgrund der extremen Verzögerungen und die dadurch entstehenden hohen Kräfte wird während den periodischen Service-Arbeiten auf eine Wiederholung dieser dynamischen Prüfung verzichtet. Die Fangbremsen werden lediglich auf ihre Funktionalität geprüft. Lokale Behörden verlangen landesabhängig trotzdem eine dynamische Prüfung. Dies stellt Betreiber sowie Hersteller vor grosse Herausforderungen, da Beschädigungen nicht auszuschliessen sind. Ziel dieser Arbeit ist es, ein statisches Prüfverfahren und die dazu notwendigen Werkzeuge zu entwickeln, welches für die periodischen Wartungsarbeiten verwendet werden können.

### Vorgehen

Die Auslegung einer Fangbremse basiert auf einem Gleitreibungskoeffizienten. Für eine statische Prüfung wird jedoch ein Haftreibungskoeffizient benötigt. Weil dieser jedoch nicht bekannt ist, besteht die Schwierigkeit darin, geeignete Lastannahmen zu treffen. Zu diesem Zweck wurde ein Versuch durchgeführt, welcher aufzeigte, dass die Haftreibungszahl etwa doppelt so hoch ist wie die Gleitreibungszahl. Anhand von diesem Verhältnis werden die Kräfte ermittelt, welche benötigt werden, um einen Wagen aus dem Still-

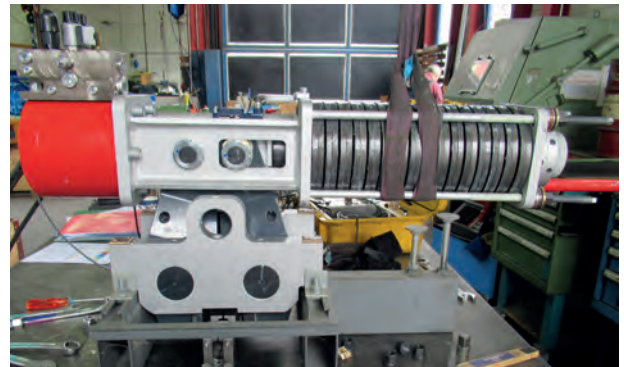


Abb. 2: Fangbremszage vor dem Einbau

stand zu bewegen, während eine Fangbremse an der Schiene klemmt. Um die Kräfte möglichst tief zu halten, muss anschliessend die Steigung definiert werden, bei welcher die Prüfung durchgeführt wird. Anhand dieser Lastannahmen können die benötigten Werkzeuge und Hilfsmittel definiert und konstruiert werden.

### Ergebnis

Man entschied sich für eine Variante, bei welcher der Standseilbahnwagen mit einem Handseilzuggerät (Habegger) bergab gezogen wird. Dadurch hilft die Hangabtriebskraft, um den Wagen in Bewegung zu setzen. Dies wird bei einer Steigung von 30 % durchgeführt. Die dabei entstehenden Kräfte betragen rund 45 kN. Passend dazu werden Anschlagmittel entwickelt, welche diese Kraft am Wagen und an der Schiene aufnehmen können. Der Aufbau dieser Prüfung ist in Abb. 1 ersichtlich.

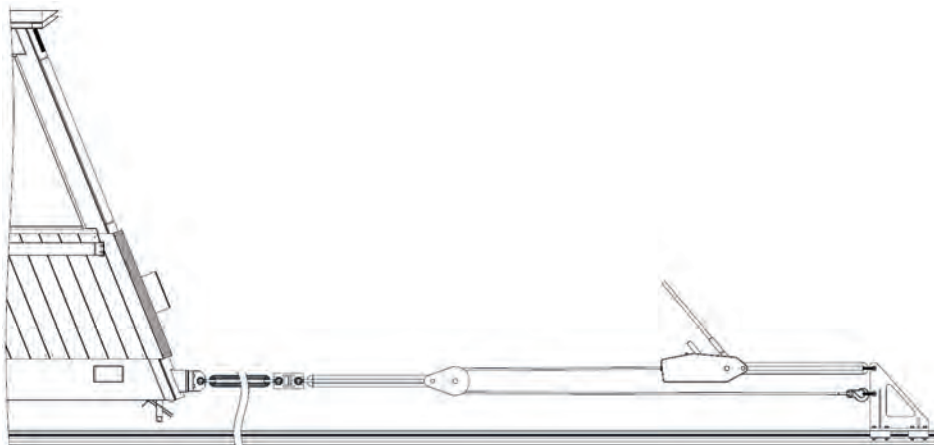


Abb. 1: Aufbau der statischen Fangbremsprüfung



**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

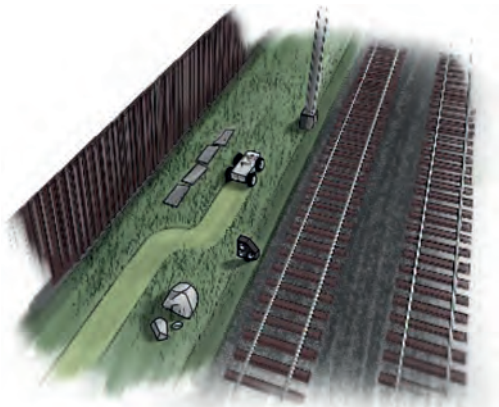
**Mauro Schöpfer**  
**Prof. Dr. Carsten Haack**  
**Institut IME, CC MS & SBB AG**  
**Dr. Rudolf Morach**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Aufhängung Schneidwerkzeug für autonomen Roboter

### Ausgangslage

Um Wartungs- und Inspektionswege an den Gleisen für das Personal der Schweizerischen Bundesbahnen SBB jederzeit zugänglich zu halten, wird die Vegetation im gleisnahen Bereich mit dem Herbizid Glyphosat oder durch kostenintensive manuelle Vegetationsbekämpfung entfernt. Glyphosat ist laut der internationalen Krebsforschungsagentur «wahrscheinlich krebserregend für den Menschen». Aus Gesundheits- sowie Umweltgründen soll daher zeitnah auf eine mechanische Vegetationsbekämpfung durch einen autonomen Roboter mit innovativer Schneidmechanik umgestiegen werden (Abb. 1). Dieser Roboter muss die Fähigkeit besitzen, die Gleise überqueren zu können, um alle Bearbeitungsbereiche zu erreichen.

Ziel der Arbeit war es, die Schnittstelle zwischen der Schneideinheit und dem Fahrzeug (Aufhängung) in Form einer Linearführung auszuarbeiten, wobei nur mechanische Komponenten verwendet werden sollen.

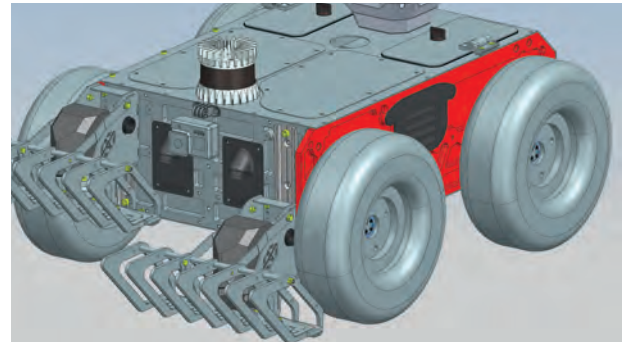


**Abb. 1:** Vegetationsbekämpfung im gleisnahen Bereich durch autonomen Roboter

### Vorgehen

Basis der Arbeit war ein autonomer Roboter, welcher mit zwei unabhängigen Schneideinheiten, ausgeführt als Balkenmäher, ausgerüstet ist (Abb. 2). In einer Funktionsanalyse wurden zuerst schematisch möglichst viele Szenarien und somit die Funktionen, welche der Roboter im Betrieb erfüllen muss, zusammengetragen. Anhand von Technologie-Recherchen wurden verschiedene Lösungskonzepte für diese Aufhängung erstellt.

Die ausgearbeitete Aufhängung sowie die weiteren Komponenten, welche für zusätzliche Teilfunktionen benötigt



**Abb. 2:** Bestehender Roboter als Basis der Arbeit

werden, wurden bezüglich der auftretenden Kräfte im Dauerbetrieb sowie bei Kollisionen mit Hindernissen analysiert. Ausgearbeitet wurde die entwickelte Aufhängung bis hin zu Fertigungsunterlagen.

### Ergebnis

Aus der Kraftanalyse hat sich ergeben, dass eine Lineargleitführung den angenommenen Belastungen bei der grösstmöglichen Kollision nicht standhält. Daher wird eine Linearführung mit Kugeln, welche diesen Beanspruchungen gerecht wird, eingesetzt. Zur Unterstützung beim Anheben sowie zum Bremsen beim Absenken der Schneideinheit werden Gasdruckfedern verwendet. Um dem rauen Einsatzgebiet zu trotzen, sind 3D-gedruckte Abdeckungen in und quer zur Fahrtrichtung aus geeignetem Gleitmaterial vorgesehen (Abb. 3).



**Abb. 3:** Ausgearbeitete Aufhängung: Linearführung mit Kugeln | Gasdruckfedern | Abdeckungen in und quer zur Fahrtrichtung



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Pascal Schranz  
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer  
Daniele Pavese, Pavese AG  
B. Sc. ME Stephanie Janssen  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Magnetmotor – eine Machbarkeitsprüfung

### Ausgangslage

Viele Tüftler liebäugeln mit einer Realisierung des sogenannten Magnetmotors. Dazu gehört auch der Industriepartner dieser Arbeit. In seinem Auftrag soll das Konzept Magnetmotor genauer betrachtet und analysiert werden. Vielversprechende Resultate sollen zu der Ausarbeitung eines Prototyps führen. Über den Magnetmotor sind bis anhin wenige Fakten bekannt und das Thema polarisiert. Eine verbreitete Definition eines Magnetmotors ist, dass der Dauerbetrieb des Systems rein über Permanentmagnete gewährleistet werden sollte.

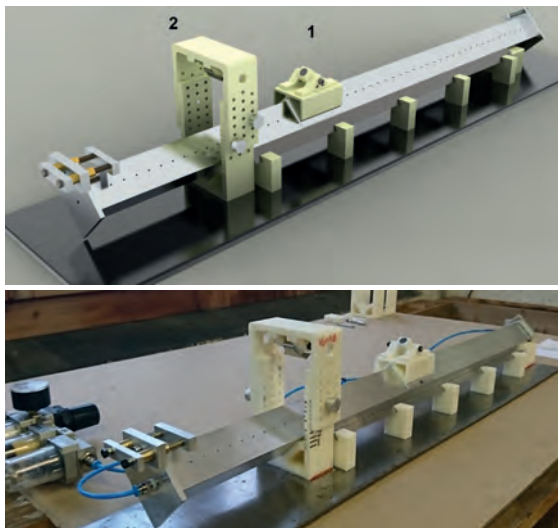


Abb. 1: Versuchsaufbau

### Vorgehen

Neben einer Patentrecherche werden theoretische Grundlagen in Form einer physikalischen Recherche durchgeführt, um notwendiges Wissen über die zu tätigen praktischen Arbeiten zu erlangen. Um die Erkenntnisse der Theorie stützen zu können, wird mit Hilfe eines Versuchsaufbaus (Abb. 1) eine Versuchsreihe durchgeführt. Der Feldversuch soll Aufschluss liefern, ob aus Dauermagneten ein nutzbarer Energieüberschuss entsteht, um damit einen Magnetmotor betreiben zu können.

Herzstücke des Aufbaus sind zwei Dauermagnete (3) (Abb. 2), die auf dem luftgelagerten Schlitten (1) und dem Statorrahmen (2) mit abstossender Paarung verbaut werden. Für den Versuch wird der Schlitten unter verschiedenen Einstellungen (Abb. 2) durch den Stator gespickt, um den Einfluss der magnetischen Wechselwirkung auf die resultierende Reichweite des Schlittens untersuchen zu können.

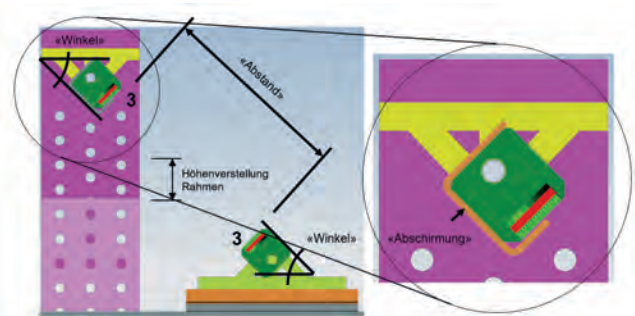


Abb. 2: Einstellbare Parameter des Versuchsaufbaus

Um prüfen zu können, ob eine Abschirmung des statischen Magnetfelds möglich ist, enthält der Aufbau eine Abschirmplatte, welche optional eingesetzt wird. Die aus dem Versuch gesammelten Datensätze werden anschliessend statistisch ausgewertet.

### Ergebnis

Die statistische Auswertung zeigt, dass die Reichweiten, welche unter dem Einfluss einer magnetischen Wechselwirkung (Abb. 3, grüne Daten) gemessen werden, keinen statistisch signifikanten Unterschied auf die Reichweiten ohne magnetischen Einfluss (Abb. 3, blaue Daten) bewirken können. Im Endeffekt belegt die Arbeit, dass eine Variation der Parameter (Abb. 2) keine Veränderungen der Schlittenreichweite bewirkt, Permanentmagnete somit keinen Energieträger darstellen und das System Magnetmotor nicht funktionieren kann.

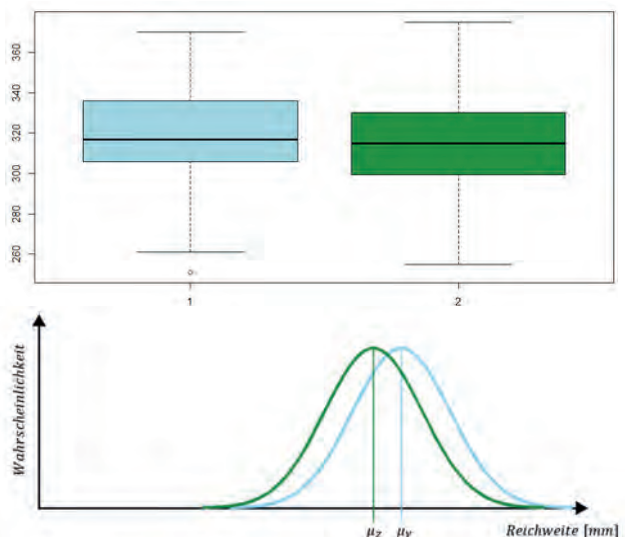


Abb. 3: Auswertung der Datensätze



**Diplomand**  
**Dozent**  
**Projektpartner**  
**Experte**  
**Themengebiet**

**Stig Segat**  
**Dipl. Ing. FH Joshua Lanter**  
**SBB AG**  
**Dipl. Ing. FH Roger Dubach**  
**Produktentwicklung & Mechatronik**

## Mobiles Testsystem für Heisswasser-Spritzfahrzeug der SBB

### Ausgangslage

Um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Schweizer Schienennetzes zu garantieren, ist eine regelmässige Wartung und Instandhaltung für die SBB unverzichtbar. Dazu gehört auch die Beseitigung von Unkraut auf den Schienentrassen, was zurzeit mit Glyphosat vorgenommen wird. Das Glyphosat ist schädlich für die Umwelt und die SBB hat sich das Ziel gesetzt, bis 2025 komplett darauf zu verzichten.

Daher wurde im Projekt «NoHerbi» der SBB das Heisswasser-Spritzfahrzeug (Abb. 1) entwickelt und erste Versuche gefahren. Die Spritzgenauigkeit ist aber noch nicht zufriedenstellend. Die Aufgabe ist es, für das bestehende Heisswasser-Spritzfahrzeug eine mobile Testeinrichtung zu entwickeln und zu konstruieren. Damit soll die «Variable Rate Application (VRA)» Steuerung analysiert werden. Damit soll eine Aussage über die Spritzgenauigkeit in Abhängigkeit der Geschwindigkeit gemacht werden. Diese Arbeit befasst sich mit einem Konzept für ein strassentaugliches Versuchsfahrzeug.



Abb. 1: Heisswasser-Spritzfahrzeug

### Vorgehen

Aufgrund bestehender Daten des Heisswasserspritzfahrzeuges wurde das Versuchssystem auf die notwendigsten Komponenten reduziert. Durch ein klassisches Variantenstudium mit anschliessender Bewertung von Prinzipkombinationen resultierte das Lösungskonzept, welches für den mobilen Test verwendet werden soll.

### Ergebnis

Das Lösungskonzept besteht aus einem Anhänger (Abb. 2) mit allen notwendigen Komponenten (Abb. 3), die für Versuchsfahrten auf einer Strasse benötigt werden. Der Anhänger wird dafür an ein E-Bike angekuppelt.



Abb. 2: E-Bike Anhänger

Beim Testablauf wird die VRA auf die Recheneinheit (1) gespielt, wo vorgängig auch eine Unkraut GIS-Karte mit den Positionen des Unkrautes gespeichert sind. Beim Überfahren dieses Unkrautes mit dem E-Bike löst das I/O Modul (2) durch die Ortung mit dem GPS-Signal die Elektromagnetventile (6) aus. Somit wird mit Wasser eine Markierung auf den Boden gesetzt. Dies wird mit einer Kamera (5) erfasst und ausgewertet.

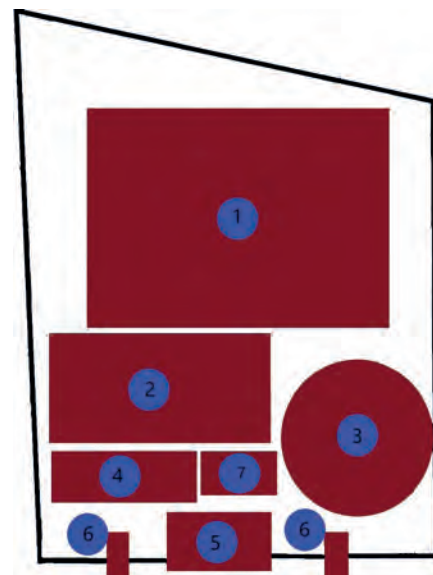


Abb. 3: Anordnung der Komponenten auf dem Anhänger:  
(1) Recheneinheit, (2) I/O Modul, (3) Wassertank,  
(4) Akku, (5) Smartphone, (6) Elektromagnetventil,  
(7) DC/DC



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Philipp Stalder  
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis  
Sefag Components AG  
Dr. Giovanni Mastrogiacomo  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Optimierung eines Hochspannungsschalters

### Ausgangslage

Die Firma Sefag Components AG in Malers hat einen Prototyp (Abb. 1) eines vollisolierten Hochspannungsschalters für die Stromversorgung einer Lokomotive entwickelt. Im Innern des Aluminiumgehäuses befindet sich ein Vakuumschalter welcher durch eine elektrisch isolierende Silikon-schicht umgeben ist. Dieser Prototyp erfüllte jedoch die elektrischen Anforderungen nicht. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Schwachstellen des aktuellen Prototyps zu finden, Verbesserungsvorschläge auszuarbeiten und zu validieren.



Abb. 1: 3D-Modell des Prototyps

### Vorgehen

Um die Schwachstellen des bestehenden Prototyps zu finden, wurde dieser genauestens analysiert. Mit Hilfe mehrerer Messungen mit dem Computertomographen (CT) der HSLU T&A wurden Aufnahmen vom Inneren des Schalters gemacht. Der Schalter wurde anschliessend aufgesägt, um den Innenbereich zu untersuchen. Dadurch konnten die kritischen Stellen des Schalters identifiziert werden. Im Anschluss wurden diverse Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet, welche anhand von weiteren Versuchen validiert wurden. Diese Versuche beinhalteten teilweise auch wieder CT-Messungen (Abb. 2). Vor allem der Prozessschritt des Silikon-Giessens wurde dabei genauer analysiert. Parallel zu den Versuchen wurde auch ein verbesserter Prototyp hergestellt, welcher ebenfalls einer elektrischen Prüfung unterzogen wurde (Abb. 3).

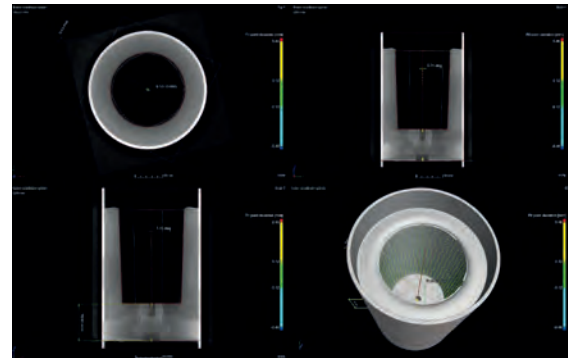


Abb. 2: Aufnahmen einer CT-Messung

### Ergebnis

Einige Verbesserungen, welche im neuen Prototyp umgesetzt wurden, haben die gewünschte Wirkung erzielt, andere verursachten jedoch neue Probleme. In einem nächsten Schritt soll der Schalter weiter untersucht werden. Aufgrund verschiedener Testergebnisse konnte aufgezeigt werden, dass Temperaturschwankungen beim Giessprozess sowie auch beim fertigen Schalter im Normalbetrieb zu Problemen führen können. Es wurde ein Grobkonzept für einen neuen Prototyp entwickelt, bei dem der Temperatureinfluss auf ein Minimum reduziert werden soll.



Abb. 3: Elektrische Prüfung am verbesserten Prototyp im Hochspannungslabor





Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Dominique Tholl  
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer  
maxon | zub  
B. Sc. ME Stephanie Janssen  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Demonstrator für Motion Controller

### Ausgangslage

Die Firma maxon | zub entwickelt seit über 30 Jahren Motion Controller für die hochpräzise und dynamische Antriebssynchronisation. Ihr neuestes Produkt, der Multi Axis Controller MiniMACS6-AMP-4/50/10, soll nun vertrieben werden. Um die Anwendungsmöglichkeiten, z.B. an Messen, zu veranschaulichen, wurde ein Demonstrator entwickelt. Die Besucher können mit dem Demonstrator interagieren. Ziel ist es, der Synchronisation nicht nur zusehen, sondern diese auch zu fühlen.

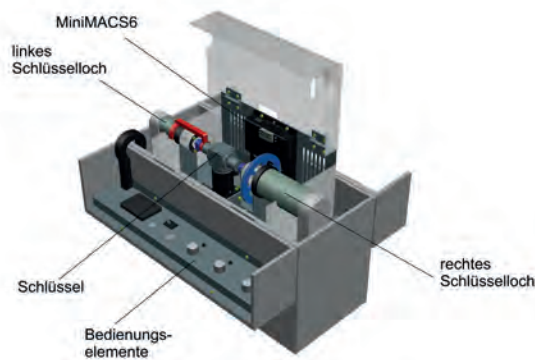


Abb. 1: Aufbau des Demonstrators

### Vorgehen

Da die Art des Demonstrators zu Beginn offenstand, wurden mittels Brainstormings viele verschiedene Ideen zusammengetragen und mit dem Industriepartner besprochen. Man entschied sich schlussendlich für eine Kombination zweier Lösungsvorschläge und arbeitete diese aus. Man machte sich den morphologischen Kasten zu Nutze, um mehrere Varianten zu entwickeln und bewertete diese nach technischer und wirtschaftlicher Wertigkeit. Schlussendlich entschloss man sich für eine der Varianten, welche ausgearbeitet wurde. In einem Transportkoffer befinden sich vier elektrische Motoren von maxon (Abb. 1).

Mittig befindet sich ein Schlüssel, welcher von zwei Schlüsselöchern flankiert ist. Der Schlüssel ist auf einem Riementrieb montiert, welcher eine horizontale Bewegung zwischen den Schlüsselöchern ermöglicht. Der Benutzer kann nun am rechten Schlüsseloch eine Drehzahl mittels Handrad vorgeben (Abb. 2). Per Knopfdruck wird die vorgegebene Drehzahl gehalten und der Schlüssel greift in das Schlüsseloch ein. Dabei muss synchron gefahren werden, damit keine Schäden entstehen. Anschliessend bewegt sich der Schlüssel auf die linke Seite und greift in das Schlüsseloch ein, welches mit einer anderen Drehzahl dreht. Mit diesem Aufbau

können noch weitere Anwendungen realisiert werden. Man kann mit dem Schlüssel eine CAM-Curve nachfahren oder die Schlüsselöcher im Spiegelbetrieb nutzen, indem sie ihre Bewegungen nachahmen. Somit kann der Nutzer eine beliebige Bewegung mit dem Handrad durchführen und das linke Schlüsseloch kopiert diese. Der Anwendungsbereich kann zu einem späteren Entwicklungsverlauf weiter ausgebaut werden.

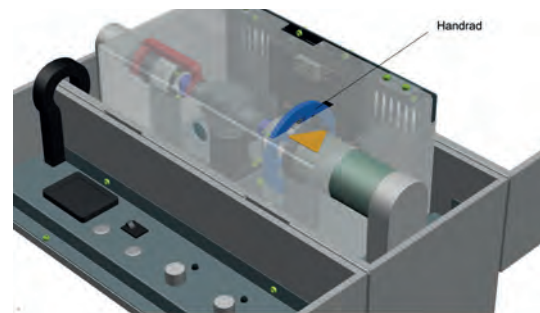


Abb. 2: Geschlossene Abdeckung

### Ergebnis

Der Demonstrator wurde im CAD konstruiert, die Zeichnungen und Stücklisten wurden erstellt und die Elemente bestellt. Da durch die Covid-19 Pandemie erhebliche Lieferverzögerungen entstanden, konnte der Prototyp jedoch noch nicht montiert werden. Es wurde jedoch ein Teststand gebaut, um die Programmierung der Regler durchführen zu können. Dabei konnte eine Positionsgenauigkeit von  $\pm 1.73^\circ$  erreicht werden. Dadurch ergab sich eine benötigte Toleranz von 0.8 mm am Schlüsseloch (Abb. 3).

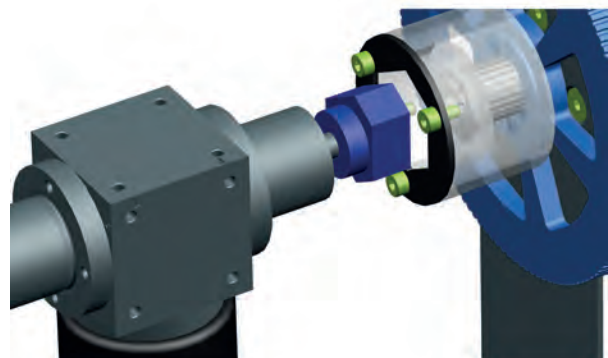


Abb. 3: Schlüssel und Schlüsseloch



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Christoph Trösch  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Nestlé Development Center Konolfingen  
Dipl. Ing. ETH Florian Brunner  
Energien, Fluide und Prozesse

## Prädiktive Wahl der Betriebsbedingungen eines Sprühtrockners gestützt auf Wettervorhersagen

### Ausgangslage

Die Herstellung von Babynahrung in Pulverform umfasst als wichtigen Prozessschritt die Sprühtrocknung. Dabei ist die Zerstäubung des flüssigen Milchkonzentrats in den heissen Luftstrom von qualitätsentscheidender Bedeutung – Sprühdruk, Sprühwinkel und Tropfengrößenverteilung müssen in engen Grenzen gehalten werden, damit die erforderlichen Produkteigenschaften eingehalten werden können.

Der Durchsatz ist stark vom Feuchtegehalt der angesaugten Umgebungsluft abhängig. Für einen 30 - 50 Stunden dauernden Produktionslauf müssen Wetterschwankungen berücksichtigt werden, da nicht alle Betriebsbedingungen während des Laufes angepasst werden können. Heute wird basierend auf Erfahrungen der Mitarbeitenden und einer Abschätzung der Wetterentwicklung eine aus Drallkörper und Lochblende bestehende Düsenkombination ausgewählt.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Validierung eines Programms zur Vorausbestimmung der besten Düsenkombination (Abb. 3) für den kommenden Produktionslauf basierend auf der verfügbaren Wetterprognose.

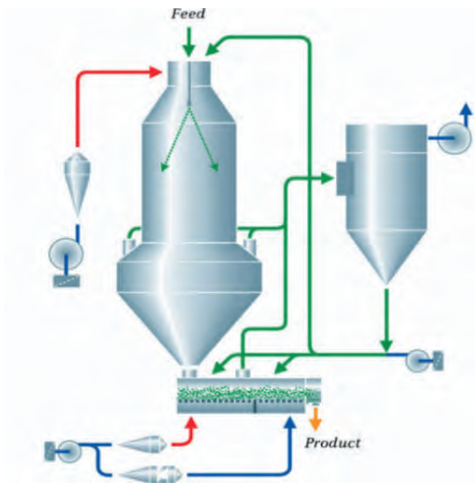


Abb. 1: Prozessschema einer Sprühtrockneranlage für Milchpulver

### Vorgehen

Die Arbeit basiert auf zwei früheren studentischen Arbeiten. Als erstes wurde der existierende Matlab-Code in die Open Source Software Python (IDE Spyder) übersetzt. Dabei wurde das vorhandene Programm optimiert und erweitert. Da das Programm weltweit zum Einsatz kommen soll, wurde der Onlinedienst 'Open Weather Map' in das Tool eingebunden.



Abb. 2: Kreisförmige Anordnung der Sprühdüsen um die Trocknungskammer

### Ergebnis

In der Validierung konnte gezeigt werden, dass das Programm die Messungen an einer Pilotanlage mit hoher Genauigkeit abbilden kann (Massenstrom Milchkonzentrat, Sprühdruk). Die Abweichungen liegen unter 1%. Für die Validierung an Produktionsanlagen benötigt man genauere Daten. Schlüsselparameter ist die Viskosität des Milchkonzentrats. Benutzt werden dabei spezielle Coriolis-Durchflusssensoren mit integrierter Viskositätsmessung, welche aber erst in wenigen Werken zum Einsatz kommen. Eine Validierung an Produktionsanlagen steht aus diesem Grund noch aus.

Das erarbeitete rechnergestützte Tool wird die Werkmitarbeitenden eine hilfreiche und zuverlässige Unterstützung bei der Auswahl der am besten geeigneten Sprühdüse bieten.

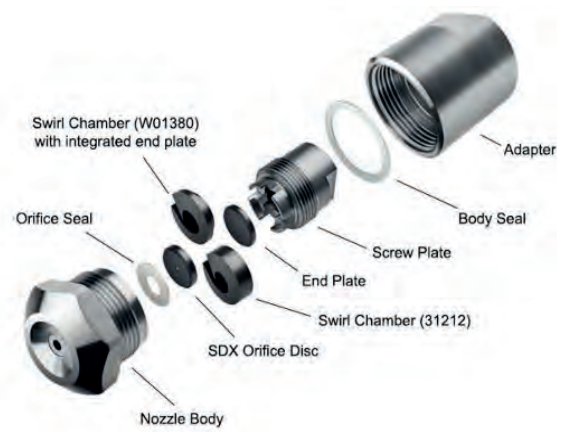


Abb. 3: Aufbau einer Sprühdüse



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Klemens Vogler  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Thermoplan AG  
Dr. Andreas Lehr  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Konzipierung, Simulation und Auslegung eines Milchkühlkühlers für Gastronomie-Kaffeemaschinen

### Ausgangslage

Gastronomie-Kaffeemaschinen verfügen heutzutage meist über integrierte Milchschaumsysteme zur vollautomatischen Erzeugung von Milchschaum. Um Milchschaum mit konstanter Qualität erzeugen zu können (Abb. 1), sollte die Temperatur der Milch zu Beginn des Aufschäumprozesses rund  $5^{\circ}\text{C}$  betragen. In den Gastronomie-Kaffeemaschinen der Thermoplan AG wird die Milch in integrierten Kleinkühlschränken kalt gehalten (Abb. 2). Da die Milch mit diesen Kühlschränken nur langsam abgekühlt werden kann, muss die Milch bereits kalt eingefüllt werden. Die in der Gastronomie oft verwendete UHT-Milch wird jedoch meistens ungekühlt gelagert. So kommt es vor, dass die Temperatur der Milch teilweise zu hoch ist, was zu schwankender Milchschaum-Qualität führt.

Das bestehende System mit Kleinkühlschrank soll daher durch einen sogenannten Milchkühlkühler ersetzt werden. Die Milch soll ungekühlt angesaugt und erst unmittelbar vor dem Aufschäumprozess, beim Durchfließen des Milchkühlkühlers, auf die Zieltemperatur abgekühlt werden. Das Ziel der Arbeit ist, eine Handlungsempfehlung zur Entwicklung eines Milchkühlkühlers für Gastronomie-Kaffeemaschinen abzugeben.



Abb. 1: Milchschaum mit idealer Qualität

### Vorgehen

Es wurden verschiedene Konzepte von Milchkühlkühlern erarbeitet und mit geeigneten Kriterien bewertet. Für das vielversprechendste Konzept wurde ein vereinfachtes



Abb. 2: Gastronomie-Kaffeemaschine Black&White3 der Thermoplan AG mit linksseitig angebrachtem Kleinkühlschrank, welcher die Milch kühl hält

Simulationsmodell entwickelt. Mit Hilfe der Simulationen konnte dieses Konzept grob ausgelegt werden. Zudem wurde eine Handlungsempfehlung zuhanden der Verantwortlichen der Thermoplan AG erarbeitet.

### Ergebnis

Zur Konzipierung des Milchkühlkühlers wird das System in Teilfunktionen zerlegt, für welche einzelne Teillösungen ermittelt werden. Die Teillösungen werden zu Gesamtkonzepten kombiniert. Diese werden in einem zweistufigen Verfahren bewertet, mit welchem das vielversprechendste Gesamtkonzept evaluiert wird. Für dieses Konzept wurde ein Simulationsprogramm entwickelt, mit welchem das Verhalten des Milchkühlkühlers für unterschiedliche Betriebsbedingungen abgebildet werden kann. In einer Parameterstudie werden unterschiedliche Anlagen-Konfigurationen untersucht. Basierend auf den Ergebnissen der Parameterstudie wurde das Gesamtsystem Milchkühlkühler grob ausgelegt. Auf die technische Lösung kann aus Vertraulichkeitsgründen nicht detaillierter eingegangen werden.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Fabian Wahli  
Prof. Dr. Ludger Fischer  
GF Machining Solutions  
Dr. Kai Lieball  
Energien, Fluide und Prozesse

## Experimentelle Untersuchung von Hochleistungskühlmitteln

### Ausgangslage

Die immer höher werdenden Anforderungen an Werkzeugmaschinen führen dazu, dass ein Kühlmittel möglichst viel Energie aufnehmen bzw. dass es sich möglichst wenig erwärmen soll (kleiner Temperaturanstieg). Dabei sind Phasenwechselformen als Hochleistungskühlmittel von grossem Interesse. Bei annähernd konstanter Temperatur kann während des Phasenwechsels wesentlich mehr Wärme aufgenommen werden als mit herkömmlichen Kühlmitteln. Die Grundlage der Arbeit bildet eine an der Hochschule Luzern entwickelte Phasenwechselformen (PCD). In einer früheren Bachelorarbeit wurde ein Versuchsaufbau realisiert (Abb. 1), welcher verschiedene Daten wie Temperaturen (TI), Massenstrom und Heizleistung erfasst. Anhand dieser Daten sollen die verschiedenen Stoffwerte, unter anderem der Wärmeübergangskoeffizient, die spezifische Wärmekapazität und die Nusselt-Zahl ermittelt und die Resultate grafisch dargestellt werden.

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde der Versuchsaufbau durch Wasser-Messungen validiert und mit bestehenden Korrelationen aus der Literatur und Publikationen verglichen. Anschliessend wurde durch verschiedenste Messeinstellungen die Leistungsfähigkeit der PCD untersucht, um daraus den optimalen Betriebspunkt zu ermitteln. Abschliessend wurden nochmals Messungen mit Wasser durchgeführt, um die PCD zu klassifizieren und das Potential im direkten Vergleich aufzuzeigen.

### Ergebnis

Die Messungen haben gezeigt, dass bei einer optimalen Eintrittstemperatur von 22 °C und bei gleicher zugeführten Energiemenge der Temperaturanstieg der PCD dreimal tiefer ist als bei Wasser mit gleichem Massenstrom (Abb. 2). Die Abweichung der Nusselt-Zahlen der PCD zur Korrelation ergeben mit 15 % ähnliche Resultate wie die Abweichung der Wasser-Messungen (Abb. 3).

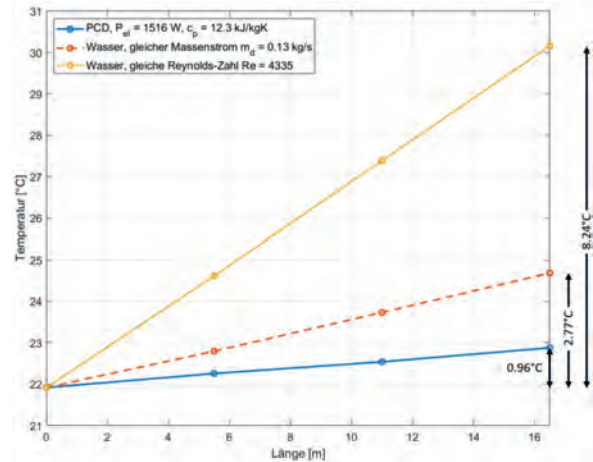


Abb. 2: Temperaturanstieg über die Mess-Strecke für Wasser und für PCD

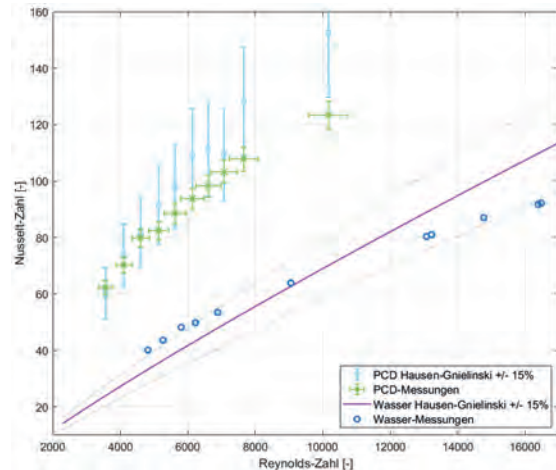


Abb. 3: Vergleich der Nusselt-Zahl von Wasser und PCD, berechnet aus der Korrelation und aus Messungen bei unterschiedlichen Reynolds-Zahlen

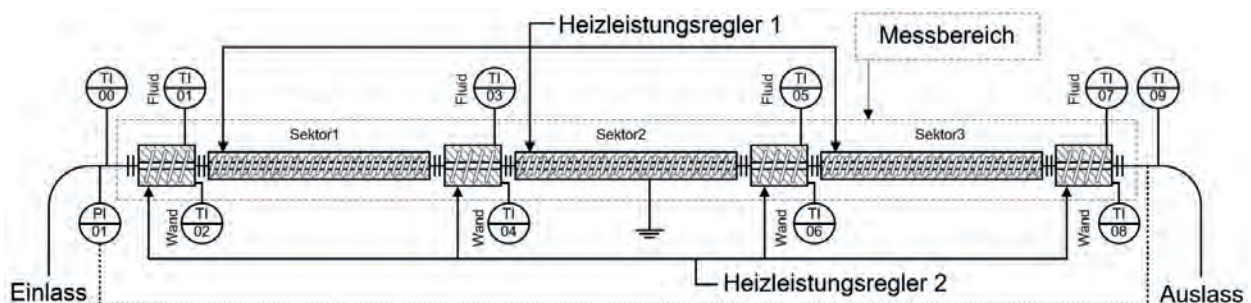


Abb. 1: Mess-Strecke des bestehenden Versuchsaufbaus



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Sandro Weber  
Prof. Dr. Ludger Fischer  
Energie Service Biel  
Dr. Kai Lieball  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Optimierung eines Seewasserwerkes mittels thermischer Energiespeicherung

### Ausgangslage

Das Trinkwasser für 64'000 Einwohner der Stadt Biel und Umgebung stammt zu 92 % aus dem Seewasserwerk (SWW) in Ipsach, welches von Energie Service Biel (ESB) betrieben wird. Nach 50 Jahren Betriebszeit hat das alte SWW ausgedient und weicht nun einem Neubau. Ein wichtiges Ziel des neuen SWW ist die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung im Trinkwasseraufbereitungsprozess und den Betrieb der Anlage durch die Nutzung erneuerbarer Energien. Dazu sollen zwei Kaltwasserbecken des alten SWW durch den Einsatz eines sogenannten gedämmten Abdichtungsystems (GEAS) zu einem saisonalen thermischen Energiespeicher (TES) mit 120 m<sup>3</sup> Speichervolumen umgenutzt werden (Abb. 2). Dieses Vorgehen reduziert die Baukosten des Wärmespeichersystems. Eine Pilotanlage gemäss Abb. 1 wurde anhand eines Innosuisse Vorprojekts realisiert. Dabei lässt das GEAS 65 eine maximale Speichertemperatur von 65 °C zu. Eine Erhöhung dieser Temperatur auf 95 °C ist in Planung. Als Wärmequelle für die Speicherbeladung dienen Prozessabwärme aus dem SWW und Solarenergie (PV-Anlage), welche auf dem Dach installiert wird.

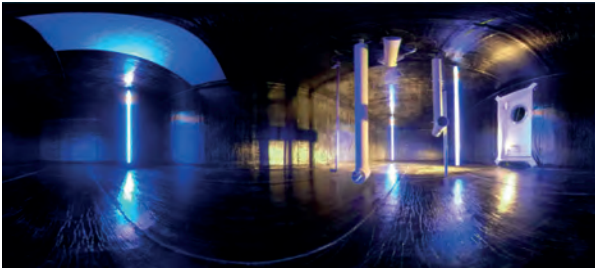


Abb. 1: Innenansicht des fertigen Pilotspeichers GEAS 65

### Vorgehen

Anhand von Jahressimulationen wird das Potenzial und die Wichtigkeit des saisonalen TES aufgezeigt. Dazu werden die Wärmebedarfs- und Abwärmemengen des neuen SWW eruiert. Notstromgeneratoren, welche monatlich getestet werden, liefern dabei grosse Abwärmemengen, die mittels thermischer Energiespeicherung weiterverwendet werden können. Die Angaben dazu stammen aus der Projektplanung und Erfahrungswerten von ESB. In den Simulationen wird ein Szenario mit Solarthermie und eines mit einer Wärmepumpe, betrieben durch erneuerbaren Strom aus einer PV-Anlage, analysiert.

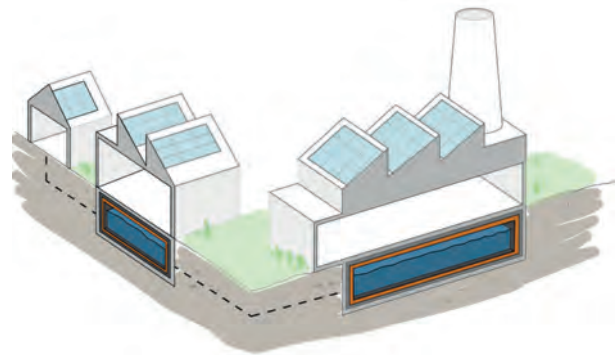


Abb. 2: Industriegebäude mit integrierten saisonalen thermischen Energiespeichern

Für die beiden Szenarien werden Jahressimulationen mit dem integrierten saisonalen TES durchgeführt. Dazu wird ein Simulationstool vom Kompetenzzentrum Thermische Energiespeicher (CC TES) der Hochschule Luzern verwendet.

### Ergebnis

Aus den Simulationen geht hervor, dass die Vorteile des zweiten Szenarios überwiegen. Um den Wärmebedarf decken zu können, werden 0.3 % des gesamten PV-Ertrages benötigt. Weiter lässt sich eine Einsatzoptimierung der Wärmepumpe durchführen, wodurch die Abwärme von Notstromgeneratoren besser ausgeschöpft werden kann. Eine 100 % thermische Autarkie lässt sich nur mit einer Speichertemperatur von 95 °C erreichen. Das Konzept für die Erhöhung der Speichertemperatur von 65 °C auf 95 °C soll bei Baubeginn stehen und im neuen SWW umgesetzt werden. Der Einsatz des saisonalen TES ist für die Erreichung des angestrebten Autarkiegrades zentral. Die Simulationen zeigen, dass für die Gebäudeheizung 80 % des Wärmebedarfes aus dem Speicher entnommen wird. Die restlichen 20 % können direkt von der Solarthermie oder der Wärmepumpe bezogen werden. Dieser Anteil ist nicht höher, da die Bereitstellung der Wärmenergie mittels Solarenergie und der Wärmebedarf ein zeitliches Ungleichgewicht aufweisen. Durch den Einsatz eines saisonalen TES kann das saisonale Ungleichgewicht der Wärme kompensiert werden, wodurch das SWW thermisch autark wird.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Michael Widmer  
Prof. Dr. Thomas Nussbaumer  
Institut IME, CC TEVT, Fachgruppe Bioenergie  
Dr. Peter Neuenschwander  
Energien, Fluide und Prozesse

## Wärmebedarfsprognose zur Regelung von Holzheizwerken

### Ausgangslage

Holzenergie deckt heute gut 5 % der Energieversorgung in der Schweiz und kann noch um gut 50 % gesteigert werden. Dieses Zusatzpotenzial soll ausgeschöpft werden, wozu unter anderem Holzheizwerke zur Versorgung von Fernwärmenetzen realisiert werden sollen. Der Wärmeleistungsbedarf während eines Tages kann stark und teilweise rasch schwanken (Abb. 1). Holzessel können aufgrund ihrer thermischen Trägheit jedoch nur langsam in der Leistung geregelt werden. Um diese Regelung zu optimieren, soll mit Hilfe von Machine Learning der Wärmebedarf im Fernwärmenetz vorhergesagt werden. Diese Information soll in die Regelung der Holzessel einfließen.

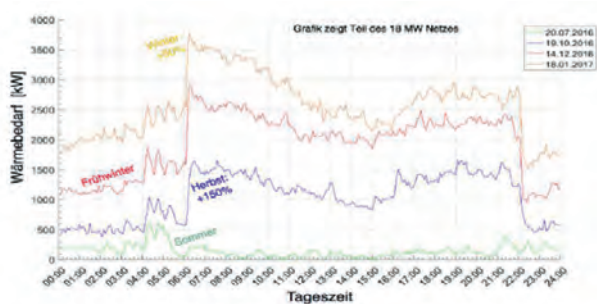


Abb. 1: Tagesverlauf des Wärmebedarfs an vier unterschiedlichen Tagen im Jahr  
(Quelle: T. Nussbaumer & S. Thalman, 15. Holzenergie-Symp. 14.9.2018, 25–38)

### Vorgehen

Die zum Supervised Learning dazugehörigen Algorithmen eignen sich, um mit den gegebenen Daten von Verbrauchern im Fernwärmenetz deren Wärmebedarf vorherzusagen. Dafür müssen zuerst in den Daten eines ausgewählten Verbrauchers Variablen gefunden werden, welche den Wärmebedarf und Einflüsse auf diesen quantifizieren. Solche Variablen sind z.B. die Aussentemperatur oder die Sonneneinstrahlung. Diese Variablen sind nötig, um ein Modell zu trainieren, das den Wärmebedarf vorhersagen kann. Die

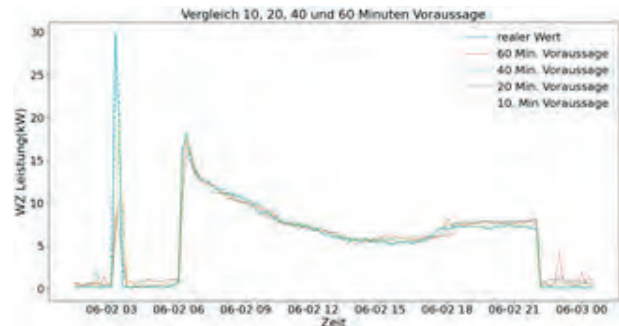


Abb. 2: Voraussage Wärmebedarf 1 Tag Juni

Variablen werden untersucht und für die nächsten Schritte aufbereitet. Als Nächstes wird ein passender Algorithmus durch einen Vergleich unterschiedlicher Algorithmen ausgewählt. Für das weitere Vorgehen wird der Random Forest Regressor gewählt. Mit verschiedenen Methoden wird dann bei der Optimierung versucht, möglichst gute Bedingungen für eine optimale Voraussage zu finden. Erst dann wird das Voraussagemodell erstellt, mit dem unter anderem der Wärmebedarf von 60 Minuten in der Zukunft vorhergesagt wird. Das gleiche Vorgehen wird auf verschiedene Verbraucher angewendet, um zu prüfen, ob das Voraussagemodell in unterschiedlichen Situationen funktioniert. Die Resultate der einzelnen Verbraucher werden anhand von Kennzahlen verglichen.

### Ergebnis

Die Auswertung und der Vergleich der Vorhersagen zeigen, dass es mit einer gewissen Ungenauigkeit möglich ist, den Wärmebedarf vorherzusagen. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Voraussage bei verschiedenen Verbrauchern funktioniert. In Abb. 2 ist eine Vorhersage zu sehen. Dabei handelt es sich um Voraussagen des Wärmebedarf in 10, 20, 40 und 60 Minuten.



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**André Wyrsh  
Prof. Dr. Rolf Kamps  
Hinni Infra Services  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Entwicklung einer service- und montagegerechten Hydrantenmechanik

### Ausgangslage

Hydranten sind ein wichtiger Bestandteil einer modernen Infrastruktur. Von diesem Produkt wird stetige Einsatzbereitschaft und eine hohe Ausfallsicherheit erwartet. Die Firma Hinni AG entwickelt und produziert verschiedene Hydranten-Systeme. Um die Position des Marktführers zu verteidigen, braucht es Innovation und die Systeme müssen fortlaufend weiterentwickelt werden.

In einem Konzeptentwurf wurde das benötigte Bedienmoment zum Öffnen und Schliessen des Hydranten-Ventils auf unter 10 Nm verringert. Ziel dieser Arbeit war es, die Herstellbarkeit und Wartungsfreundlichkeit dieses Konzepts zu verbessern und dabei das Bedienmoment weiterhin auf einem tiefen Niveau zu halten.

### Vorgehen

Am vorhandenen Konzept des Hydranten-Unterteils wurde eine Wirkflächenanalyse durchgeführt, um die Schwachstellen in der Herstellung und die Hindernisse bei einer Wartung des Systems zu identifizieren. Es wurde nach Analogien in verschiedenen Anwendungsbereichen gesucht und schliesslich wurden die Bauteile mit Hilfe eines Variationstools, mit korrigierendem Vorgehen weiterentwickelt. Die Änderungen wurden im CAD umgesetzt. Dabei wurde die Position der Befestigung des Ventilmechanismus sowie der Kraftaufnahme des Systems verschoben. Zum Schluss wurde ein Anschauungsmodell im Additive Manufacturing Verfahren hergestellt.

### Ergebnis

Aus den vorgenommenen Änderungen an der Form und den verwendeten Werkstoffen konnte die Herstellbarkeit der Bauteile gesteigert werden. Das Bedienmoment konnte tief gehalten und der gewünschte Durchfluss sowie die maximalen Fließgeschwindigkeiten eingehalten werden. Zudem wurden die unter Druck stehenden Komponenten geprüft und ein Festigkeitsnachweis erbracht.



Abb. 1: Konzept Hydranten-Unterteil



**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Patrik Wyrsh  
Prof. Dr. Gerhard Stefan Székely  
Maxon Motor AG  
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel  
Produktentwicklung & Mechatronik**

## Mars-Windrad – Konzept und Analyse für Ausfallsystem

### Ausgangslage

Derzeit existieren zwei Möglichkeiten der Energieerzeugung bei Mars-Missionen: Solarpanels und Radionuklid-Batterien. Durch die staubige Mars-Atmosphäre kann sich eine Staubschicht auf den Solarpanels ablagern und deren Leistung beeinträchtigen oder ganz ausschalten. Die Radionuklid-Batterien enthalten eine grosse Energiemenge, sind aber problematisch in der Handhabung und bringen ein hohes Risiko beim Start mit. Aus diesen Gründen wird nach weiteren Energieerzeugungs-Verfahren gesucht.

Auf dem Mars gibt es eine dünne Atmosphäre und Winde. Mit dem Flug der „Ingenuity“ (Abb. 1) konnte bewiesen werden, dass diese Atmosphäre genutzt werden kann, um Drohnen abheben zu lassen. Dieses Prinzip soll nun umgedreht werden, damit durch Windenergie Strom erzeugt werden kann. Dadurch hätte man ein Backup-Verfahren, um in Zukunft die Solarpanels und Radionuklid-Batterien zu ergänzen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Funktionsmodell für das Ausfaltkonzept eines Windrads zu entwickeln.



Abb. 1: Drohne „Ingenuity“ auf dem Mars

### Vorgehen

Basierend auf verschiedenen Vorprojekten und den daraus gemachten Erfahrungen ist eine Anforderungsliste entstanden. Auf Grund dieser wurden verschiedene Lösungskonzepte generiert und verglichen. Anschliessend diente eine Nutzwertanalyse dazu, die bestmögliche Lösung auszuwählen. Ein morphologischer Kasten half die Lösungssuche zu verfeinern. Auf dieser Grundlage entstand die Konstruktion. Die Hauptbaugruppe ist in mehrere Unterbaugruppen aufgeteilt (Abb. 2). In diesen wurden die Einzelteile ausgearbeitet und optimiert. Mit Hilfe von analytischen Berechnungen und FEM-Analysen wurden die Strukturkomponenten auf Festigkeit überprüft.

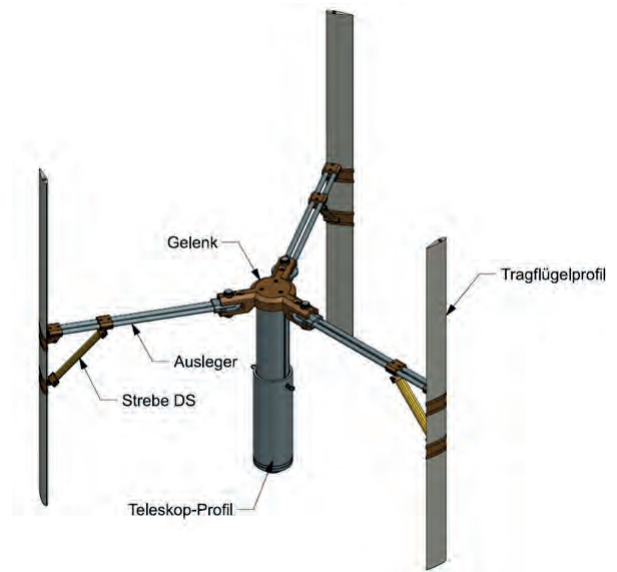


Abb. 2: CAD-Modell Hauptbaugruppe ausgefahren

### Ergebnis

Als Endprodukt entstand eine fertige Konstruktion des Testmodells (Abb. 3), welche nun in Fertigung gehen kann. Ein Pneumatik-Zylinder dient dazu, das Teleskop-Profil auszufahren. Die Ausleger werden durch Schenkelfedern nach aussen geschwenkt. Eine spezielle Konstruktion aus «Deployable Structures» hilft mit, die Tragflügelprofile aufzuklappen und zu versteifen. Der Mechanismus wird durch Betätigen von zwei Rastbolzen und Entfernen eines Haltbügels ausgelöst. Danach kann die Konstruktion von Hand wieder in die Ursprungsform verstaut werden. Das Testmodell zeichnet sich durch eine einfache Bauweise, geringer Platzbedarf und gute Bedienbarkeit aus.

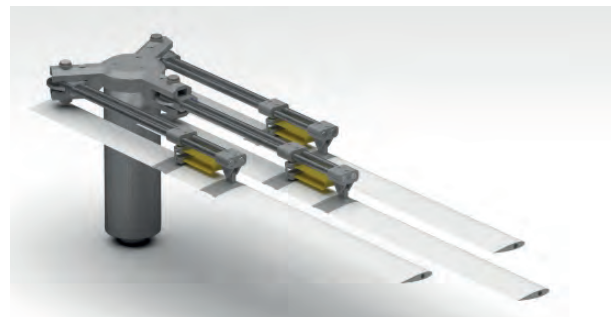


Abb. 3: Rendering Testmodell eingefahren





Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Tim Zraggen  
Prof. Dr. Ludger Fischer  
Cowa Thermal Solutions AG, Skycell AG  
Dr. Kai Lieball  
Energie, Fluide und Prozesse

## PCM Drop Kalorimeter und Zyklrierapparatur

### Ausgangslage

Die Notwendigkeit Wärme speichern zu können, gewinnt in der heutigen Zeit zunehmend an Bedeutung. Eine Möglichkeit ist, die thermische Energie in einem Material über den Phasenwechsel zwischen flüssig und fest zu speichern (siehe Abb. 1). Phasenwechselmaterialien (PCM) müssen die wichtigen Kriterien erfüllen, dass sie über lange Zeit (über mehrere Phasendurchläufe), ohne Änderung der Phasenwechselenthalpie ( $\Delta h_{PC}$ ) oder der Phasenwechseltemperatur, stabil bleiben.

Ziel dieser Arbeit ist es zwei Versuchsaufbauten, welche in Vorarbeiten entstanden sind, zu optimieren, erweitern, in Betrieb zu nehmen, zu kalibrieren und Messungen durchzuführen. Es handelt sich dabei um die Erweiterung einer Zyklrierapparatur mit einem Wärmestromsensor, welche Proben von  $-50^{\circ}\text{C}$  bis  $+60^{\circ}\text{C}$  zyklrieren kann, um die Langzeitstabilität zu untersuchen. Sowie ein Drop Kalorimeter, mit welchem die Phasenwechselenthalpie, sowie die Phasenwechseltemperatur bestimmt werden kann.

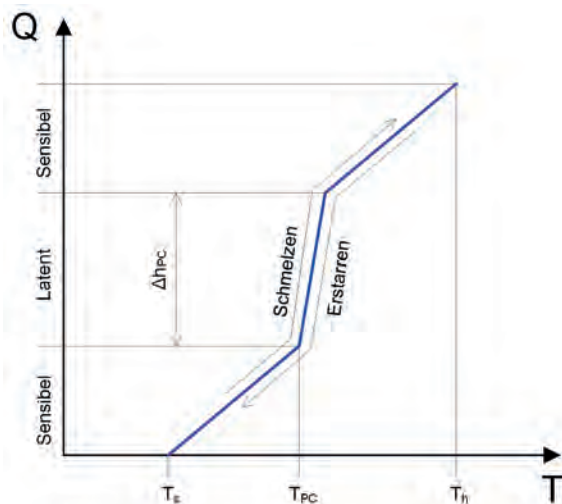


Abb. 1: Q-T Diagramm eines PCM

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde mittels thermodynamischer Simulationen eine optimale Positionierung für den Wärmestromsensor in der Zyklrierapparatur ausfindig gemacht. Die Erkenntnisse der Simulationen flossen direkt in einen Versuchsaufbau ein, um die Messresultate der Simulationen an einem «Real World» Szenario zu validieren. Nach erfolgreichen Messversuchen konnte die optimierte Zyklrierapparatur im CAD konzeptioniert werden.

Für den Drop Kalorimeter wurde der bestehende Aufbau analysiert und bewertet. Als Ergebnis wurde entschieden ein vollständig neues Konzept zu entwickeln.

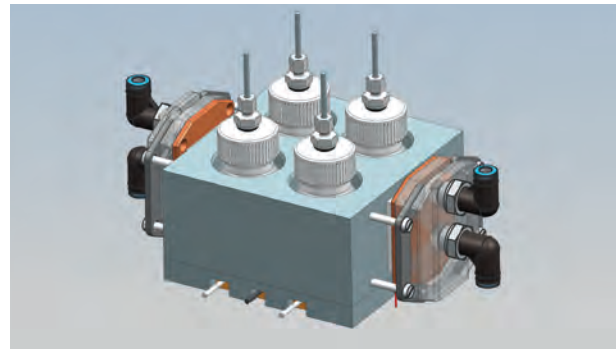


Abb. 2: CAD Modell Zyklrierapparatur

### Ergebnis

Der Aufbau der Zyklrierapparatur besteht aus einem zweiteiligen Aluminiumprobenträger, in welchen die Wärmestromsensoren mit thermisch leitendem Epoxidharz eingeklebt werden. Die Deckel der vier Probenflaschen wurden so angepasst, dass die Temperatursensoren reproduzierbar in der PCM Probe platziert werden können (siehe Abb. 2).

Der neu konzeptionierte Aufbau des Drop Kalorimeters besteht aus einem isolierenden Dewar Gefäß in welches 500ml Arbeitsflüssigkeit eingefüllt werden können. Das Gefäß wird mit einem 3D gedruckten Deckel, an welchem der Temperatursensor und die Heizpatrone befestigt sind, verschlossen. Eine Öffnung im Deckel ermöglicht es, mit einem Einhängemechanismus die Proben reproduzierbar und ohne Werkzeuge in das Gefäß einzuführen (siehe Abb. 3).

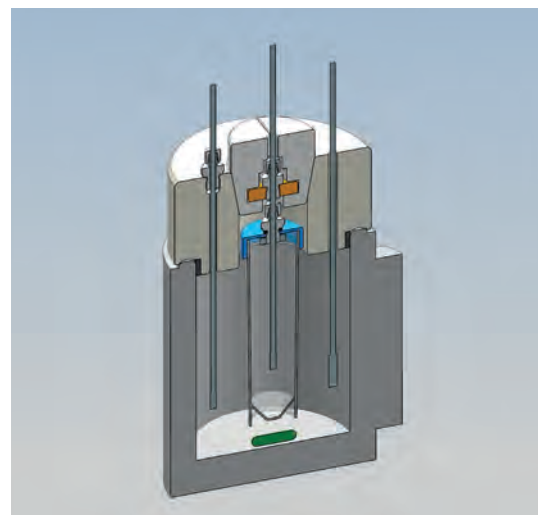


Abb. 3: CAD Modell Drop Kalorimeter (Schnittansicht)

# Master-Theses



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Noah Dossenbach  
Prof. Ralf Legrand  
LIP Automation AG  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Industrial Technologies

## Realisierung einer Frontend-Backend Kommunikationsschnittstelle in industriellen Automatisierungsanlagen

### Ausgangslage

Industrielle Kommunikationsanlagen sind in der Regel mit konventionellen Softwaremodulen bestückt, die lokal in der Anlage betrieben und bedient werden. Moderne Softwareansätze setzen ein Web Server Architektur voraus, die über eine Web Applikation ortonunabhängig gesteuert werden können. Es sind lokal keine Softwaremodule zu installieren. Es ist ein Userinterface (Webinterface) zu erstellen, welches einem Anwender erlaubt, direkt über einen Browser diverse mechanische Systeme ortonunabhängig anzusteuern. Hierbei gilt es Kommunikationsschnittstellen zwischen dem Frontend und dem Backend, welcher über eine Datenbank verfügt, zu realisieren. Hier kommen einfache Bewegungsbefehle zum Ansteuern eines Feeders oder bis zu ganzen Rezepterstellung (Ablaufprogramme) vor.

Abb. 1 zeigt den Grundgedanken dieses Projektes auf. Hier ist das Frontend- sowie das Backend vertreten. Der User bedient das Frontend, welches Befehle im Backend auslöst. Als mechanische Systeme kommen hier Anyfeeder, Roboter, Vision Systeme und viele mehr zum Einsatz.

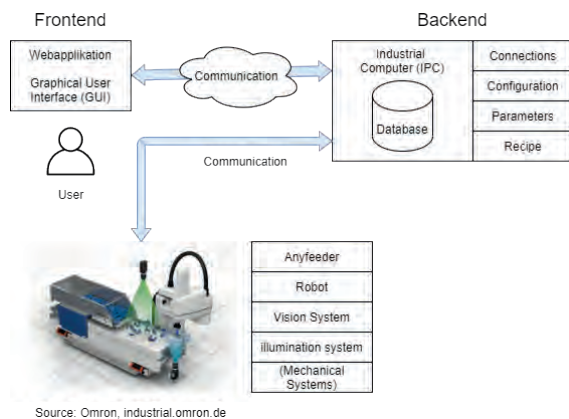


Abb. 1: Visualisierung der Kommunikation Schnittstellen im Backend - Frontend System

### Vorgehen

Durch die Einarbeitung in verschiedene mechanische Systeme und deren Eigenschaften wurden notwendige Inhalte in der Frontendumgebung analysiert. Für die Frontendumgebung wurde eine Berechtigungsstufe, sowie eine Inhaltskonzeption durchgeführt. Um eine Standardisierung

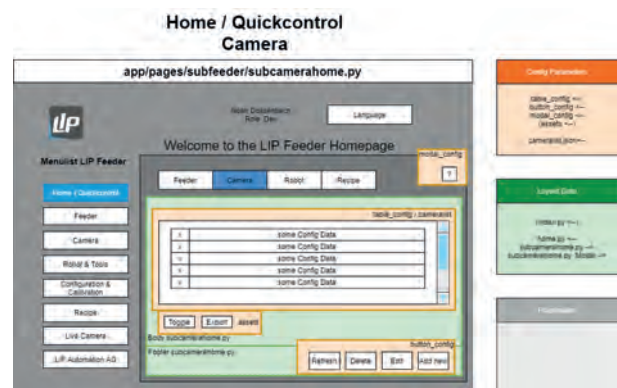


Abb. 2: Beispiel einer Ansteuerungsseite

zu erreichen, sowie um neue Systeme möglichst schnell nachimplementieren zu können, wurden diverse Konfigurationsfiles codiert. Um die Systeme möglichst plattformunabhängig zu realisieren, wurde in einer virtuellen Umgebung gearbeitet (Docker). Durch dies ist es möglich, das Webinterface betriebssystemunabhängig zu starten und zu publizieren. Einzelne Funktionen wie die Ansteuerung des Feeders oder die Bildaufnahme mit einer Kamera sind in dem Projekt erfolgreich umgesetzt worden. Abb. 2 zeigt eine mögliche Ansteuerungskomponente auf.

### Ergebnis

Durch die Realisierung des Frontendes und deren Kommunikationsschnittstellen ist es nun möglich, einzelne mechanische Systeme ortsunabhängig anzusteuern. Dies unter dem Vorteil, dass keine weitere Software auf dem Anwendergerät zu installieren ist. Somit ist es möglich von vielen Produkten aus, z.B. Smartphone, Laptop, iPad, die mechanischen Systeme anzusteuern. Durch dies weist das System eine Cross-Plattform Fähigkeit auf. Zudem ist durch eine einfache und intuitive Bedienung auch unerfahrenen Programmierern eine Programmerstellung möglich. In diesem Projekt konnten einzelne Teilsysteme bereits realisiert werden. Um ein ganzes System zu realisieren, benötigt es mehr Zeit. Durch die Vorbereitung und die Standardisierung sollte jedoch eine schnelle Nachimplementierung möglich sein.



**Diplomand  
Dozent**

**Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

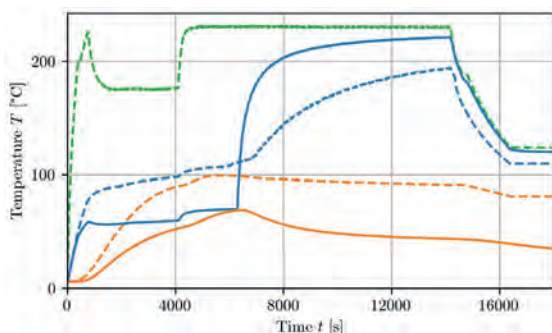
**Marc Fill**  
**Prof. Dr. Ulf Christian Müller,**  
**Prof. Dr. Mirko Kleingries**  
**V-Zug AG**  
**Dr. Gianfranco Guidati**  
**Energy and Environment**

## One-Dimensional Modelling of Heat and Mass Transfer with Variable Material Properties

### Introduction

Simulation models describing the baking process are nowadays usually based on mathematical models supported by empirical correlations. Thus, these models can only be used in the already known area where the correlations are valid. A physical modelling of all relevant process phenomena in the baking oven and especially of the baking product avoids this limitation but is extremely demanding and computationally intensive.

The goal of this master thesis is to develop a 1-D model (1-D in space and time) for a baking product, which represents the baking process based on physical modelling. The model should be as universal as possible, i.e. different material compositions, crust formation (multi-layer model), phase changes and volume changes should be taken into account.



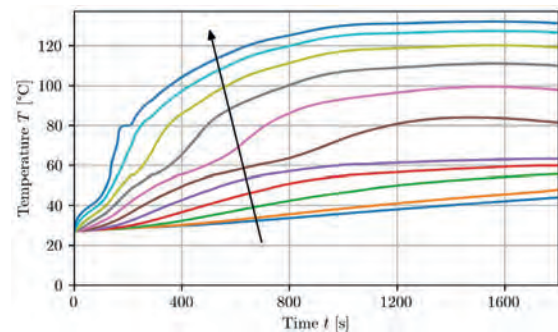
**Fig. 1:** Comparison between experimentally determined and simulated temperatures of the rigid porous media. Oven temperature (---), measured (---) and simulated (-----) surface temperature, measured (---) and simulated (-----) centre temperature

### Procedure

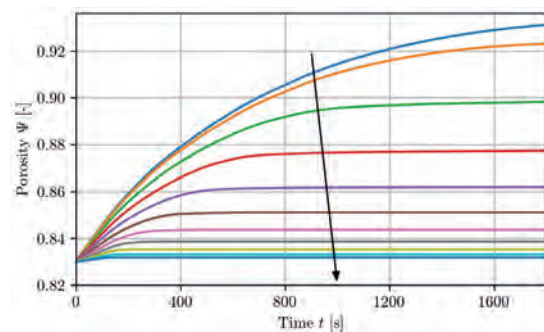
A one-dimensional model for deformable porous media, respective baking products, has been developed. In a first step, a model for rigid porous media was developed, which then served as the basis for the deformable porous media. Among other things, this model includes a  $\text{CO}_2$  production term which, in combination with a viscoelastic solid, causes deformations in the medium. The obtained models were then discretized using the finite volume method and implemented in Modelica®. Afterwards, the model for the rigid porous media has been validated with a brick. The model for deformable porous media could not be fully implemented, so only preliminary results were presented.

### Results

The validation of the rigid porous media, with a brick, has shown that the temperature profiles (Fig. 1) can be reproduced qualitatively. At the beginning however, the model reacts too strongly to the temperature reduction of the oven air. For the deformable porous media, no validation could be carried out, only preliminary results for bread were presented. Fig. 2 shows that it is not possible to distinguish between two sections, as was the case with the brick. However, it could still be shown that the  $\text{CO}_2$  generation leads to an increased porosity (Fig. 3) and thus to an increase in volume.



**Fig. 2:** Temporal development of the temperature  $T$  in the different cells of the deformable porous media. The arrow points from the first cell (bottom) to the last cell (top)



**Fig. 3:** Temporal development of the porosity  $\psi$  in the different cells of the deformable porous media. The arrow points from the first cell (bottom) to the last cell (top)



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Simon Hug  
Prof. Ralf Legrand  
KNF Flodos AG  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Industrial Technologies

## Automatisierte Bestimmung von produktspezifischen Steuerungsparametern in der 2D-Linearfördertechnik

### Ausgangslage

Mit dem Einsatz von Industrierobotern in immer flexibler werdenden Anlagenlayouts erfahren Linearförderer in der Automation einen regelrechten Boom. Die werden im industriellen Umfeld eingesetzt, um Schüttgut-Teile zu vereinzeln und lagerichtig in einen Folgeprozess einzuspeisen. Die Integration solcher Linearförderer ist allerdings zeitaufwändig und setzt viel Know-how der Integratoren voraus. Zudem benötigt jedes Teil ein eigenes Parameterset für die effiziente und reibungslose Verarbeitung. Ziel dieser Arbeit ist es, diesen Prozess zu automatisieren.

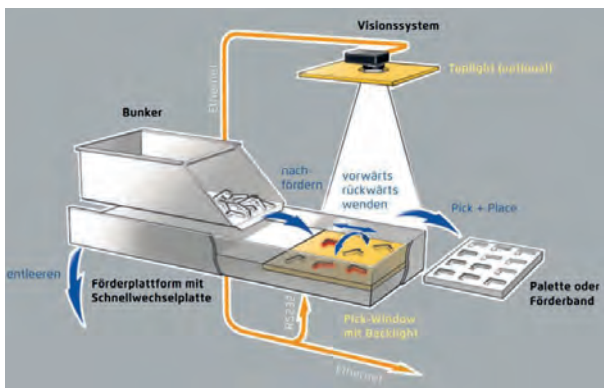


Abb. 1: System 2D-Linearförderer

### Vorgehen

Um einen Prozess zu vereinfachen oder zu automatisieren, muss die dazugehörige Mechanik verstanden werden. Daher wurde ein Linearförderer komplett demontiert und die Mechanik sowie die Elektronik analysiert.

Im nächsten Schritt wurden durch viele Versuche die verschiedenen Einflussgrößen auf den Förderprozess eruiert. Die wichtigsten teilebezogenen Einflussgrößen auf den Förderprozess wurden erkannt und bewertet. Weitere Einflussgrößen resultieren vom Linearförderer und seiner Montage, welche ebenfalls evaluiert wurden.

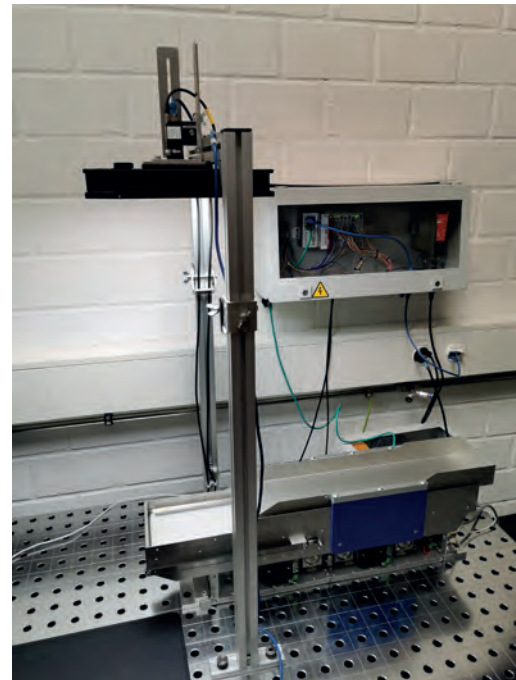


Abb. 2: Aufbau des Versuchstandes im Labor

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Algorithmen entwickelt und in Halcon programmiert. Die Algorithmen ermöglichen unter Verwendung eines Vision-Systems die automatische Bestimmung der Förderparameter sowie die Bewertung der Einbaugenauigkeit des Linearförderers in der Anlage.

### Ergebnis

Mit den entwickelten Algorithmen ist es auch einem nicht spezialisierten Anwender möglich, die Förderparameter für einen Linearförderer zu bestimmen und diesen mit reduziertem Zeitaufwand in eine Anlage zu integrieren.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Sascha Jabornegg  
Prof. Ralf Baumann  
Institut IME, CC Mechanische Systeme  
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher  
Industrial Technologies

## Development of a Multi-Scale Approach for the Computation of Stresses near Clamps in Overhead Line Conductors

### Introduction

This master's thesis deals with the numerical computation of stresses in overhead line conductors. Various finite element simulation approaches to determine the local stresses in the contacts between the individual conductor wires are being developed and investigated. Mainly the contacts between the crossing wires of the two outermost layers in multi-layered conductors are of interest. These contacts are considered critical and prone to cracking, which can lead to fatigue failure. The local stresses calculated in the contact region can serve as an input variable for models that calculate the service life of overhead line conductors. As a result, service intervals can be better defined, which serves to prevent wire breaks and thus prevent power failures.

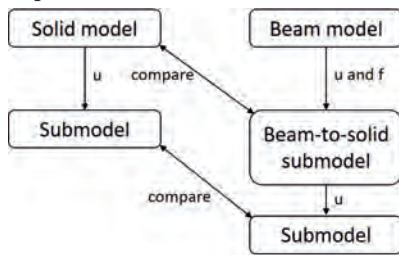


Fig. 1: Multi-scale approach

### Procedure

In the present work, on the one hand, a hybrid modelling based on a finite element model of an overhead line conductor, which mainly contains beam elements and solid elements in the region of interest, is investigated. On the other hand, the beam-to-solid submodelling technique is used (see Figure 1 and Figure 2). A solid finite element model of the region of interest is created based on an efficient beam model of an overhead line conductor by transferring boundary conditions. Displacements from the beam model are transferred at one end of the submodel and forces at the other end. In both variants, hybrid modelling and submodelling technique, a local solid-to-solid submodel of a single contact is used in a further step.

Starting with the models of a single-layered conductor on which the line contact is examined, the models are gradually

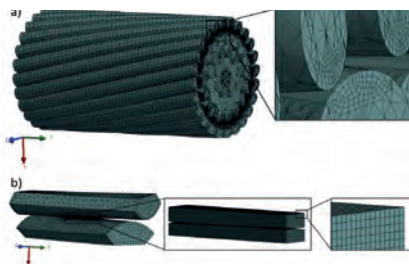


Fig. 2: a) Beam-to-solid submodel and b) Local submodel

expanded. The point contact is examined in detail using models of a two-layered conductor. The multi-scale approach developed in this way to simulate the stresses in the contact region is then implemented on models of a four-layered overhead line conductor. Tension and bending load cases as well as combined load cases in which tension and bending occur at the same time are examined. Large deformation effects, friction and elastic-plastic material are taken into account.

### Results

The investigations on the single-layered conductor already show that the hybrid modelling approach has a disadvantage compared to the beam-to-solid submodelling technique due to a significantly higher computation cost despite comparable accuracy. For this reason, the hybrid modelling approach is not pursued any further for multi-layered overhead line conductors. With the developed beam-to-solid-to-solid submodelling approach, the contact forces and stresses (see Figure 3) that are simulated with a corresponding solid finite element model can be reproduced with a deviation of less than twelve percent for single-, two- and four-layered overhead line conductors.

The investigations are limited to a few load cases, especially in the case of four-layered conductors, where only one load case is considered. In order to provide broader support for the multi-scale approach that has been developed and thus demonstrate its justification for simulating an input variable for service life models, further studies of various relevant load cases are necessary. The beam model on which the simulation approach is based may have some differences in practice from the beam model used in this work. Before using the developed beam-to-solid-to-solid submodelling approach, accuracy when used with the corresponding beam model needs to be evaluated. Since the verification is based exclusively on finite element models, a validation, for instance based on test data, is still pending.

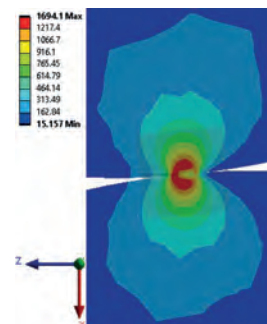


Fig. 3: Von Mises equivalent stress in contact



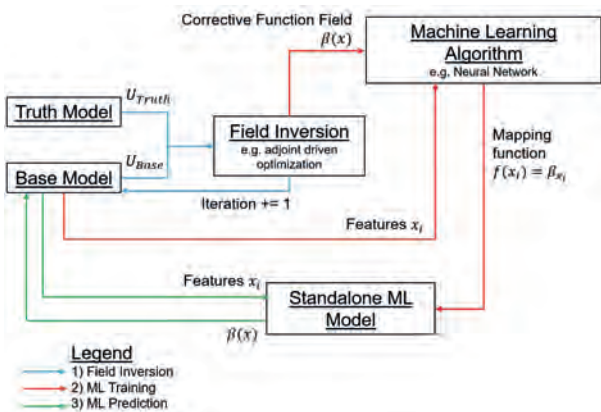
Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Anna Kiener  
Prof. Dr. Luca Mangani  
Institut IME, CC FNUM  
Dr. Christof Gentner  
Industrial Technologies

## Improving Turbulence Models in RANS Simulations with Adjoint Method Field Inversion and Machine Learning Approaches

### Ausgangslage

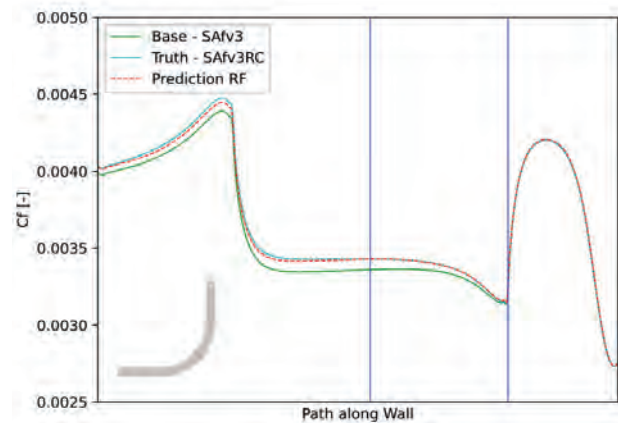
Daten getriebene Modellierungsmethoden erhalten einen immer höheren Stellenwert in der Wissenschaft und der Industrie. Computational Fluid Dynamics (CFD) erweist sich als ein exemplarisches Gebiet, um solche Methoden zu entwickeln und anzutreiben. Im Zentrum dieser Thesis steht der spezifische Prozess Field Inversion and Machine Learning (FIML). FIML strebt an, bestehende RANS Turbulenzmodelle mithilfe von Messdaten oder hoch qualitativen Simulationsdaten zu optimieren.



**Abb. 1:** FIML besteht aus drei Teilen: 1) Field Inversion, 2) Machine Learning Training und 3) Machine Learning Prediction

### Vorgehen

Ziel dieser Arbeit ist es, den FIML Prozess innerhalb des CFD Solvers coupledNumerics anzuwenden. Mit dem proof of concept wird der Prozess an einem Rohr validiert. Dies, indem das Spalart-Allmaras Turbulenzmodell optimiert wird, um die gleichen Resultate wie das Spalart-Allmaras Modell mit Rotations- und Krümmungskorrektur zu erzielen. In einem zweiten Schritt wird die Generalisierungsfähigkeit des FIML Verfahrens auf verschiedene Reynolds Zahlen und Rohrgeometrien getestet. Als letztes wird der Prozess an wenig vorhandenen realen Messdaten an einer Hügelgeometrie angewendet, welche einen hohen Druckgradienten erzeugt.



**Abb. 2:** Resultat des Reibungskoeffizienten  $C_f$  entlang der äusseren Wand eines  $90^\circ$  Rohres. Grün: Zu optimierendes Modell, blau: Zielmodell und rot: Resultat durch FIML. Die blauen Geraden geben die Mitte und das Ende der Krümmungsstrecke wieder

Für die Field Inversion wird eine diskrete Adjoint Methode genutzt, während für den Machine Learning Teil von FIML ein Random Forest und ein Neuronales Netzwerk getestet und verglichen werden.

### Ergebnis

Die Resultate haben ergeben, dass der FIML Prozess Potential hat, bestehende Turbulenzmodelle zu optimieren, aber weitere Tests und insbesondere das Sammeln von Daten nötig ist. Der Random Forest Algorithmus erzeugte konsistentere Resultate mit weniger Aufwand im Vergleich zu einem simplen Neuronales Netzwerk. Die Genauigkeit des Machine Learning Models basiert auf mehreren Faktoren, reduziert aber in jedem Fall die Genauigkeit der vorhergehenden Field Inversion. Der Generalisierungstest zeigt, dass das optimierte Turbulenzmodell auf unterschiedlichen Reynolds Zahlen und Geometrien anwendbar ist, solange diese genügende Ähnlichkeiten aufweisen.



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Michael Schubaschitz  
Prof. Dr. Beat Wellig  
SFOE – Swiss Federal Office of Energy  
Dr. Pierre Kruppenacher  
Energy and Environment

## Evaluation of pinch analysis projects in Swiss Industry - Energy efficiency measures and energy demand profiles

### Introduction

The industrial sector is responsible for 18.1 % of total energy consumption in Switzerland. Process heating alone accounts for 56 % of this. To achieve the goals of the Swiss energy strategy 2050, the CO<sub>2</sub> emissions of the industry sector must be reduced. This will be achieved by increasing energy efficiency and by using renewable energy sources.

A tool to increase energy efficiency in industrial companies is the PinCH software. In the past years, over 170 pinch analyses have been carried out in Switzerland. In the course of a research project at the HSLU, a large part of these analyses were collected and will be evaluated in this thesis.

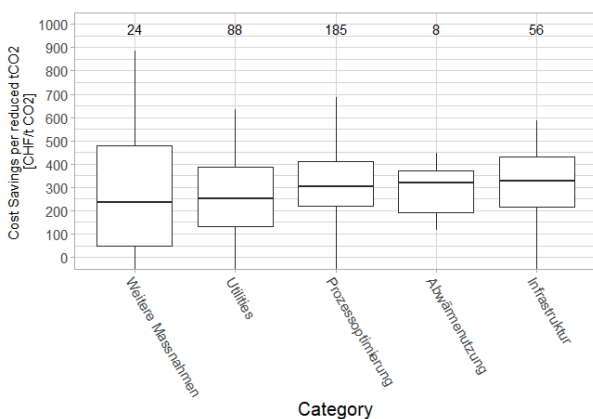


Fig. 1: Specific cost savings per reduced ton of CO<sub>2</sub> in boxplot format

### Procedure

From the 170 pinch analyses performed, 71 were selected and examined from two different perspectives. The first perspective deals with the technoeconomic evaluation of energy efficiency measures (EEM) proposed by the pinch analyses. For this purpose, systematic parameters of the EEM were collected and evaluated using statistical methods and R Studio software. In the second perspective, a method was developed to combine the results (Grand Composite Curves) of the pinch analysis to obtain sectorspecific thermal profiles.

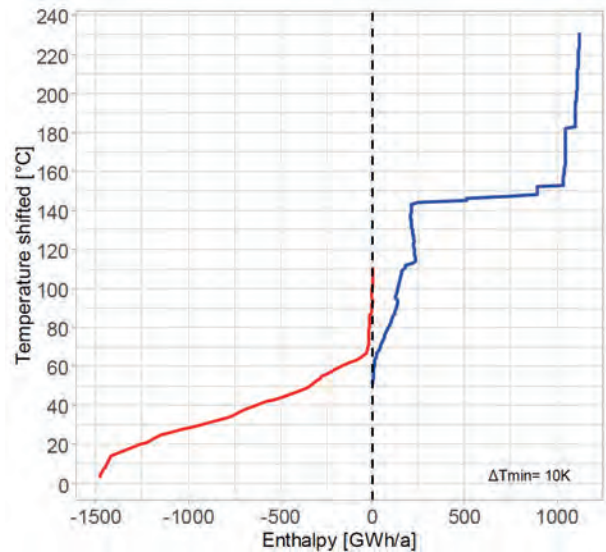


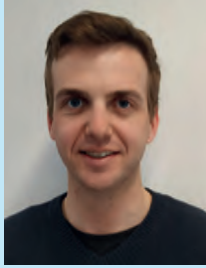
Fig. 2: Sectorspecific thermal profile

### Results

The results of the 399 EEMs show an energy saving potential of 415 GWh/a or 9 % of the total final energy demand. In terms of CO<sub>2</sub> emissions, approximately 71000 t CO<sub>2</sub>/a can be saved annually. The measures not only show savings in terms of energy and CO<sub>2</sub> but also prove to be economically viable: around 75 % of the proposed measures have a simple payback time of less than 5 years and can therefore be considered economically viable. Fig. 1 shows, for example, the cost savings per ton of CO<sub>2</sub> reduced, depending on the EEM category.

The results of the thermal profiles provide information about the maximum heat recovery potential and the minimum requirements for the utility system in a specific industrial sector (see Fig. 2). Based on the sector profiles, potentials for energy efficiency and renewables were investigated.





**Diplomand  
Dozent**

**Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

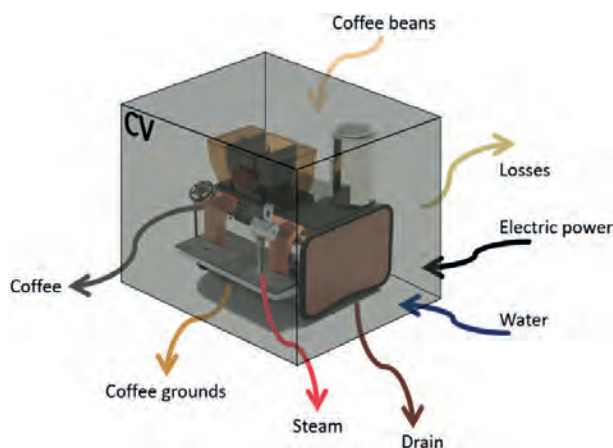
**Matteo Trchsel  
Prof. Dr. Ludger Fischer,  
Prof. Dr. Beat Wellig  
Thermoplan AG  
Dr. Maurizio Zaglio  
Energy and Environment**

## Thermodynamische Analyse und Optimierung einer Kaffeemaschine

### Ausgangslage

Die effiziente Nutzung von Ressourcen und elektrischer Energie stand bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht im Fokus bei der Entwicklung von Kaffeemaschinen. Durch das wachsende Bewusstsein in der Gesellschaft für die Problematik des Klimawandels wird in Zukunft ein nachhaltig entwickeltes Produkt an Bedeutung gewinnen.

Im Rahmen der Masterarbeit wird ein Verfahren entwickelt, welches präzise die einzelnen Energieströme der Kaffeezubereitung in einer Kaffeemaschine aufzeigt, welche bis jetzt noch nie untersucht und analysiert wurden.



**Abb. 1:** Systemgrenze der Kaffeemaschine mit den ein- und austretenden Energieströme

### Vorgehen

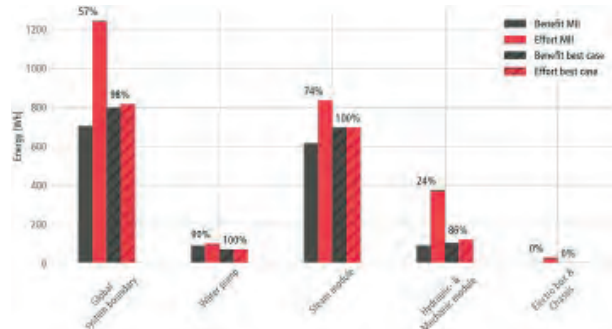
Anhand von realen Nutzerdaten konnte eine durchschnittliche Kaffeemaschinennutzung im Labor nachgestellt und alle transienten Energieströme aufgezeichnet werden.

Dazu ist ein Auswertungstool entwickelt worden, welches automatisch alle nötigen Berechnungen durchführt und auch für zukünftige Maschinen universell eingesetzt werden kann.

Anhand der thermodynamischen Analyse und einer theoretischen Berechnung ist die Optimierung der Wärmedämmung des Dampfboilers und eine Anpassung des Ablaufs der täglichen Reinigung vorgeschlagen worden.

### Ergebnis

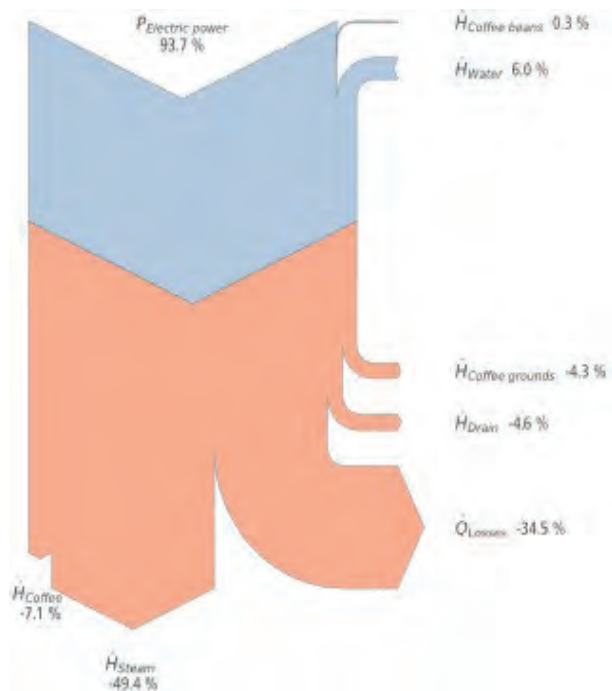
Die Analyse der Kaffeemaschine hat gezeigt, dass der Dampf für die Milcherwärmung, gefolgt von Wärmeverlusten und dem gebrühten Kaffee selbst, die grössten Energieströme aus



**Abb. 2:** Vergleich der aktuellen Kaffeemaschine mit dem theoretischen Optimum in Bezug auf die Energieeffizienz

der Kaffeemaschine darstellen. Der austretende Kaffee besitzt weniger als acht Prozent von den eintretenden Energien in die Kaffeemaschine.

Durch das vorgeschlagene Optimierungskonzept kann eine Kaffeemaschine pro Jahr ca. 300 kWh an elektrischer Energie einsparen.



**Abb. 3:** Energiebilanz der aktuellen Kaffeemaschine